

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-294532

(43)Date of publication of application : 04.11.1998

(51)Int.Cl. H01S 3/18
H01L 33/00

(21)Application number : 10-038324

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 20.02.1998

(72)Inventor : SAITO SHINJI
IIZUKA NORIO
HATAGOSHI GENICHI
ONOMURA MASAOKI
FUJIMOTO HIDETOSHI
NOZAKI CHIHARU
NISHIO JOSHI
ISHIKAWA MASAYUKI

(30)Priority

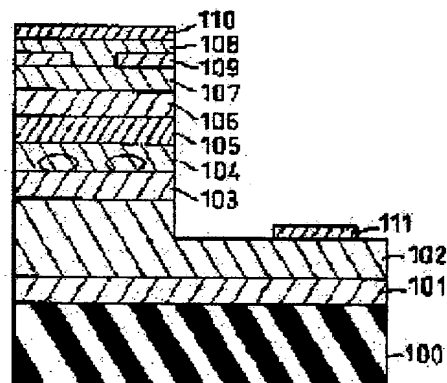
Priority number : 09 37798 Priority date : 21.02.1997 Priority country : JP

(54) NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain self-excited oscillation with simple structure.

SOLUTION: The self-excited oscillation is possible by forming an n type In_{0.1}Ga_{0.9}N/GaN multiquantum well adjacent layer 104 as a saturable absorption area adjacently to an In_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN multiquantum well active layer 105 or In_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN multiquantum well active layer 105 of this light emitting element. Consequently, this light emitting element satisfies practical performance as a read optical head for optical disk recording.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.06.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

* NOTICES *

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] In the nitride system semi-conductor light emitting device by which laminating formation of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor containing the adjacent layer which adjoins on a substrate at a barrier layer and this of 3 μm or more which has the crystal structure of hexagonal system was carried out Said adjacent layer is dotted with the island-shape field where the concentration of one element which constitutes this adjacent layer is higher than the circumference. The concentration of said one element of this island-shape field The nitride system semi-conductor light emitting device to which change of a presentation in a direction perpendicular to C shaft of the crystal of said hexagonal system differs 10% or more within 2nm, the overall diameter of said island-shape field is 100nm or less, and high impurity concentration of said island-shape field is characterized by the low thing compared with the high impurity concentration of a periphery.

[Claim 2] The nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 1 characterized by being embedded with the semi-conductor with which said barrier layer is dotted with a hole-like field, and this hole-like field forms said adjacent layer.

[Claim 3] The nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 1 characterized by dotting said adjacent layer with the hole-like field.

[Claim 4] Said one element which said adjacent layer has multiplex quantum well structure, and forms said island-shape field is a nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 1 characterized by being at least one of an indium, aluminum, or galliums.

[Claim 5] It is the nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 1 which said barrier layer has multiplex quantum well structure, and this barrier layer is dotted with the island-shape field where the concentration of one element which constitutes this barrier layer is higher than the circumference, and is characterized by this island-shape field being the same compared with the band gap of the ingredient of the field surrounding this field, or having a small band gap with the difference of less than 10 meVs.

[Claim 6] Said impurity is a nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 1 to 5 characterized by being one at least of Si, C, germanium, Sn, and the Pb(s).

[Claim 7] The nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 5 characterized by filling $\lambda_{\text{dam}}=2nd$ ($m=1, 2, 3, 4$) when luminescence wavelength of n and said island-shape field is set [spacing between said island-shape fields] to λ for the refractive index of d and its periphery.

[Claim 8] The nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 5 to 7 characterized by dotting said barrier layer with a hole-like field, and being embedded with the semi-conductor with which this hole-like field forms said adjacent layer, and being embedded with the semi-conductor which said adjacent layer is dotted with a hole-like field, and this hole-like field adjoins said adjacent layer, and forms the layer which is not a barrier layer side.

[Claim 9] The nitride system semi-conductor light emitting device characterized by being embedded with the semi-conductor with which said barrier layer is dotted with a hole-like field, and this hole-like field forms said adjacent layer in the nitride system semi-conductor light emitting device to which the laminating of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor containing the adjacent layer which adjoins a barrier layer and this of 3 μm or more which has the crystal structure of hexagonal system was carried out on a substrate.

[Claim 10] The nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 9 characterized by dotting said adjacent layer with the hole-like field.

[Claim 11] It is the nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 9 which said barrier layer has multiplex quantum well structure, and this barrier layer is dotted with the island-shape field where the concentration of one element which constitutes this barrier layer is higher than the circumference, and is characterized by this island-shape field being the same compared with the band gap of the ingredient of the field surrounding this field, or having a small band gap with the difference of less than 10 meVs.

[Claim 12] It is the nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 9 characterized by for said barrier layer making multiplex quantum well structure, and the part at least consisting of InGaN.

[Claim 13] The nitride system semi-conductor light emitting device characterized by being dotted with the hole-like field at said adjacent layer in the nitride system semi-conductor light emitting device containing the adjacent layer which adjoins a barrier layer and this on a substrate to which the laminating of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor of 3 μm or more which has the

crystal structure of hexagonal system was carried out.

[Claim 14] In the manufacture approach of the nitride system semi-conductor light emitting device which carried out laminating formation of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor containing the multiplex quantum well adjacent layer which adjoins on a substrate at a barrier layer and this of 3 μm or more which has the crystal structure of hexagonal system While said multiplex quantum well adjacent layer carries out predetermined time supply of the material gas for growth of a well layer, and the material gas for growth of a barrier layer by turns and grows up a well layer and a barrier layer by turns The manufacture approach of the nitride system semi-conductor light emitting device characterized by establishing a predetermined standby time between growth of said well layer, and growth of said barrier layer.

[Claim 15] It is the manufacture approach of the nitride system semi-conductor light emitting device according to claim 14 which the material gas for growth of said well layer is trimethylindium, trimethylgallium, and ammonia gas, and is characterized by the material gas for growth of said barrier layer being trimethylgallium and ammonia gas.

[Claim 16] The nitride system semi-conductor light emitting device which carried out laminating formation of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor containing the multiplex quantum well adjacent layer which adjoins on a substrate at a barrier layer and this of 3 μm or more which has the crystal structure of hexagonal system is faced manufacturing with the vapor growth using an organic metal. Trimethylindium, trimethylgallium, and ammonia gas are used as material gas of said vapor growth. Make growth temperature into 700 degrees C or more 850 degrees C or less, and total of all material gas and carrier gas flow rates is made into 10l. or more 50l. or less in 1 minute by standard conversion. The manufacture approach of the nitride system semi-conductor light emitting device characterized by furthermore carrying out epitaxial growth of said barrier layer for the molar flow rate ratio of V group element and an III group element or less [1000 or more] by 15000.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the light emitting device which used the compound semiconductor of nitride systems, such as GaN, AlGa_N, and InGa_N, and its manufacture approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] About the nitride system compound semiconductor, the hexagonal mold crystal which grows on substrates, such as sapphire, SiC, and a spinel, is considered as the now best crystal. However, since a sapphire substrate and a spinel substrate have low conductivity, the electrode forms p mold and n mold in a nitride semi-conductor front face. Since there are few currents which the so-called leakage current to which many currents flow produces a front face in high current impregnation like semiconductor laser, and contribute to luminescence, luminous efficiency is low and the dependability of semiconductor laser is low. Furthermore, it is difficult to form the current constriction structure for raising current density required in order to prevent leakage current or to carry out low current actuation of the semiconductor laser. For this reason, conventionally, also in high current impregnation, there is no leakage current at the low operating current, and reliable semiconductor laser structure is not acquired.

[0003] Moreover, although the noise by the change on the strength under oscillation poses a problem and for example, self-oscillation mold structure is used as this cure, it is difficult for the semiconductor laser as an optical head for read-out of the conventional optical disk record to obtain self-oscillation with super-thin film barrier layer structure. For this reason, two kinds, although the approach using the RF superimposing method or the laser itself etc. is ***** (ed), all of structure are complicated. Moreover, although how to change the thickness of a barrier layer by the location and form two kinds of laser is also reported, by this approach, there is a problem that control of the thickness of a barrier layer is very difficult. Moreover, although it is common to use two kinds of laser with which outputs differ with the head which performs read-out and writing, all of the structure are complicated.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Thus, it was difficult to create cheaply easily the semiconductor laser which filled the engine performance usable as a read-out side light head of optical disk record with the conventional nitride system semiconductor laser.

[0005] Therefore, the purpose of this invention is to offer the nitride system semi-conductor light emitting device which can perform self-oscillation with easy structure, and its manufacture approach in consideration of the above-mentioned situation.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In the nitride system semi-conductor light emitting device by which laminating formation of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor of 3 yuan or more with which this application the 1st invention contains the adjacent layer which adjoins on a substrate at a barrier layer and this, and which has the crystal structure of hexagonal system was carried out Said adjacent layer is dotted with the island-shape field where the concentration of one element which constitutes this adjacent layer is higher than the circumference. The concentration of said one element of this island-shape field Change of a presentation in a direction perpendicular to C shaft of the crystal of said hexagonal system differs 10% or more within 2nm. Moreover, the overall diameter of said island-shape field is 100nm or less, and the high impurity concentration of said island-shape field is the nitride system semi-conductor light emitting device which has a low thing compared with the high impurity concentration of a periphery.

[0007] This application the 2nd invention is a nitride system semi-conductor light emitting device given in said 1st invention which has being embedded with the semi-conductor with which said barrier layer is dotted with a hole-like field, and this hole-like field forms said adjacent layer.

[0008] This application the 3rd invention is a nitride system semi-conductor light emitting device given in said 1st invention which has that said adjacent layer is dotted with the hole-like field. Said one element with which said adjacent layer has multiplex quantum well structure, and this application the 4th invention forms said island-shape field is a nitride system semi-conductor light emitting device given in said 1st invention which has that it is at least one of an indium, aluminum, or galliums.

[0009] It is dotted with the island-shape field where the concentration of one element which, as for said barrier layer, this application the 5th invention has multiplex quantum well structure, and constitutes this barrier layer in this barrier layer is higher than the circumference, and this island-shape field is the same

compared with the band gap of the ingredient of the field surrounding this field, or it is a nitride system semi-conductor light emitting device given in said 1st invention in which it has a small band gap with the difference of less than 10 meVs.

[0010] This application the 6th invention is a nitride system semi-conductor light emitting device given in said the 1st thru/or 6th invention in which said impurity has that it is one of Si, C, germanium, Sn, and the Pb(s) at least.

[0011] This application the 7th invention is a nitride system semi-conductor light emitting device given in said 5th invention which has filling $\lambda_{\text{dam}}=2\text{nd}$ ($m=1, 2, 3, 4$), when luminescence wavelength of n and said island-shape field is set [spacing between said island-shape fields] to λ for the refractive index of d and its periphery.

[0012] This application the 8th invention is a nitride system semi-conductor light emitting device given in said invention of the 5th thru/or 7 which has said barrier layer being dotted with a hole-like field, and it being embedded with the semi-conductor with which this hole-like field forms said adjacent layer, and being embedded with the semi-conductor which said adjacent layer is dotted with a hole-like field, and this hole-like field adjoins said adjacent layer, and forms the layer which is not a barrier layer side.

[0013] This application the 9th invention is a nitride system semi-conductor light emitting device which has being embedded with the semi-conductor with which said barrier layer is dotted with a hole-like field, and this hole-like field forms said adjacent layer in the nitride system semi-conductor light emitting device to which the laminating of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor containing the adjacent layer which adjoins a barrier layer and this of 3 yuan or more which has the crystal structure of hexagonal system was carried out on a substrate.

[0014] This application the 10th invention is a nitride system semi-conductor light emitting device given in said 9th invention which has that said adjacent layer is dotted with the hole-like field. It is dotted with the island-shape field where the concentration of one element which, as for said barrier layer, this application the 11th invention has multiplex quantum well structure, and constitutes this barrier layer in this barrier layer is higher than the circumference, and this island-shape field is the same compared with the band gap of the ingredient of the field surrounding this field, or it is a nitride system semi-conductor light emitting device given in said 9th invention in which it has a small band gap with the difference of less than 10 meVs.

[0015] It is a nitride system semi-conductor light emitting device given in the 9th invention which has that, as for said barrier layer, this application the 12th invention is making multiplex quantum well structure, and the part at least consists of InGaN.

[0016] This application the 13th invention is a nitride system semi-conductor light emitting device which has being dotted with the hole-like field at said adjacent layer in the nitride system semi-conductor light emitting device to which the laminating of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor containing the adjacent layer which adjoins a barrier layer and this of 3 yuan or more which has the crystal structure of hexagonal system was carried out on a substrate.

[0017] This application the 14th invention contains the multiplex quantum well adjacent layer which adjoins on a substrate at a barrier layer and this. In the manufacture approach of the nitride system semi-conductor light emitting device which carried out laminating formation of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor of 3 yuan or more which has the crystal structure of hexagonal system said multiplex quantum well adjacent layer While carrying out predetermined time supply of the material gas for growth of a well layer, and the material gas for growth of a barrier layer by turns and growing up a well layer and a barrier layer by turns, it is the manufacture approach of a nitride system semi-conductor light emitting device of having establishing a predetermined standby time between growth of said well layer, and growth of said barrier layer.

[0018] The material gas for growth of said well layer of this application the 15th invention is trimethylindium, trimethylgallium, and ammonia gas, and the material gas for growth of said barrier layer is the manufacture approach of a nitride system semi-conductor light emitting device given in the 14th invention which has that they are trimethylgallium and ammonia gas.

[0019] This application the 16th invention contains the multiplex quantum well adjacent layer which adjoins on a substrate at a barrier layer and this. The nitride system semi-conductor light emitting device which carried out laminating formation of the mixed-crystal layer which consists of an III-V group compound semiconductor of 3 yuan or more which has the crystal structure of hexagonal system is faced manufacturing with the vapor growth using an organic metal. As material gas of said vapor growth Trimethylindium, trimethylgallium, and ammonia gas are used. Make growth temperature into 700 degrees C or more 850 degrees C or less, and total of all material gas and carrier gas flow rates is made into 10l. or more 50l. or less in 1 minute by standard conversion. It is the manufacture approach of a nitride system semi-conductor light emitting device of being 15000 or less [1000 or more] about the molar flow rate ratio of V group element and an III group element, and furthermore having carrying out epitaxial growth of said barrier layer.

[0020] If it summarizes, it is made for this invention to produce self-oscillation by making into a saturable absorption field the adjacent layer which adjoins the barrier layer or barrier layer of a nitride semi-conductor light emitting device.

[0021] Therefore, according to this invention, it can do [generating self-oscillation without using complicated structure, or], and the semiconductor laser for read-out of the optical disk record with the property of a low

noise can be formed. Moreover, the object for writing can be read, it can produce with the same structure as business, and the structure of the head both for write-in read-out can be simplified.

[0022]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the operation gestalt of this invention is explained to a detail using a drawing. Drawing 1 is a sectional view explaining the outline configuration of the nitride system semiconductor laser concerning the 1st operation gestalt of this invention. All over this drawing, 100 are a sapphire substrate and 101 is an n mold GaN buffer layer (Si doping). It is three to $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ or 0.1 micrometers, and 102 is an n mold GaN contact layer (Si doping). Three to $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ or 4 micrometers and 103 are an n mold AlGaIn cladding layer (an Si dope). $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ or 0.3 micrometers and 104 are an n mold In_{0.1} Ga_{0.9} N/GaN multiplex quantum well (multiple quantum well) adjacent layer (Si doping). $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ and well width of face of 2nm, obstruction width of face of 4nm, three pairs, 105 is In_{0.3} Ga_{0.7} N / GaN multiplex quantum well barrier layer (undoping). Well width of face of 2nm, obstruction width of face of 4nm, and 3 and 106 pairs A p mold GaN adjacent layer (Mg dope, $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ or 0.1 micrometers), 107 A p mold AlGaIn cladding layer (Mg dope, $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ or 0.3 micrometers), For 108, as for an n mold GaN energization barrier layer (Si dope, $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ or 0.3 micrometers) and 110, a p mold GaN contact layer (Mg dope, one to $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ or 0.5 micrometers) and 109 are [p lateral electrode and 111] n lateral electrodes.

[0023] The manufacture approach of semiconductor laser shown in drawing 1 is as follows. the vapor growth (Metal Organic Chemical Vapour Deposition:MOCVD) using the introduction organic metal — by law, it grows up on silicon on sapphire 100 from the n mold GaN buffer layer 101 to the n mold GaN layer 109. Then, a mask is formed with photolithography in part on the n mold GaN layer 109, and it etches until the p mold AlGaIn cladding layer 107 is exposed. Next, the p mold GaN contact layer 108 is grown up. In order to form the n mold GaN contact layer 102 after that, the part which forms the n mold GaN contact layer 102 is covered with a mask, and etching removal is carried out. A mask is removed, the n lateral electrode 111 and the p lateral electrode 110 are formed, and the nitride system semiconductor laser of the structure of drawing 1 can be manufactured.

[0024] Here, said n mold In_{0.1} Ga_{0.9} N/GaN multiplex quantum well adjacent layer 104 (Si dope, well width of face of 2nm, obstruction width of face of 4nm, three pairs) is grown up as follows. Growth temperature grows for 8 seconds under the conditions from which the growth rate of 1micrometer/h is obtained by growth of 760 degrees C and an In_{0.1} Ga_{0.9} N layer by the usual thick-film growth using TMI (trimethylindium), TMG (trimethylgallium), ammonia gas, and a silane. A well layer with a width of face of 2nm is formed of this. Subsequently, the standby time for 1 second is set and it is made to grow up for 18 seconds under the conditions of the same growth rate using TMG (trimethylgallium), ammonia gas, and a silane. A barrier layer with a width of face of 4nm is formed of this. The same process was repeated 3 times below and 3-set laminating formation of the pair of a well (well) layer and an obstruction (barrier) layer was carried out.

[0025] Thus, in the grown-up multiplex quantum well adjacent layer 104, it became clear in the field inboard of a layer that many parts were locally formed for In presentation. Drawing 2 is a mimetic diagram showing the field internal division cloth of the luminescence wavelength of the well layer of the multiplex quantum well adjacent layer 104 by the cathode luminescence method. That is, in the field shown on the hatch way all over this drawing, long luminescence of wavelength was observed rather than the perimeter. Generally, the wavelength of luminescence obtained by the cathode luminescence method changes depending on the presentation of a target. Here, the luminescence wavelength becomes long, so that there are many contents of an indium. Namely, as for the multiplex quantum well adjacent layer 104, it turned out that the field where the presentation of an indium is high exists in island shape in the field. As a result of investigating the distribution condition and luminescence wavelength in a detail, it turned out for the diameter of about 2nm that many island-shape fields of about 30% of indium presentations are formed at each well layer of the multiplex quantum well adjacent layer 104. Compared with the circumference, as for this island-shape field, it has the band gap there is much In and almost same as the band gap corresponding to the luminescence wavelength from a barrier layer 105. Moreover, as shown in drawing 3, in the field where indium concentration is high, silicon is hard to be contained, and the carrier concentration of a high part has indium concentration low [in the multiplex quantum well layer 104, as mentioned above, silicon (Si) is doped, but] as the result.

[0026] Drawing 4 is the mimetic diagram showing the condition of the conduction band of the pair of the InGaIn well layer in the multiplex quantum well adjacent layer 104, and a GaN barrier layer. That is, in this drawing, a longitudinal direction shows the distance of the thickness direction of an adjacent layer 104, and the lengthwise direction shows the energy level. As shown in this drawing, a donor exists in a GaN barrier layer at high concentration, and the energy band is curving greatly. thus, the thing which an energy band curves — the carrier to the InGaIn well layer in this part — shutting up — to an electron with a small effective mass, it becomes weak, and luminescence is not produced. Moreover, although absorption in the part with many In presentations in this adjacent layer 104 arises when a barrier layer 105 emits light, that absorption takes place in a very small island-shape field. Therefore, an adjacent layer 104 will be in a saturable absorption condition, and will be in a self-oscillation condition. Even if such self-oscillation conditions were the conditions of high power, they were maintained. Moreover, when the impurity contained in this adjacent layer 104 was used as the silicon (Si) which is n mold impurity, carbon (C), germanium (germanium), tin (Sn), or lead (Pb), there were no bad influences, such as a threshold rise.

[0027] Room temperature continuous oscillation of the laser of this operation gestalt was carried out with the

threshold of 20mA. Oscillation wavelength was 420nm and operating voltage was 3.8V. S/N improved with 130dB at 50mW o'clock compared with 20dB of the conventional semiconductor laser which does not use this structure. Moreover, by the self-oscillation mold laser of the thick barrier layer which prepared the saturable absorption layer near [conventional] the barrier layer, although high power was difficult, it was able to take out the output with the transverse mode stabilized to 200mW in this operation gestalt.

[0028] Next, this invention person manufactured much nitride system laser of this invention in which the island-shape absorption field was formed by the manufacture approach mentioned above, and investigated the rate which self-oscillation produces. Drawing 5 is the graph which showed the rate of the nitride system semiconductor light emitting device which produced self-oscillation, when an optical output is changed and is made to emit light about the manufactured nitride system semiconductor laser. In this drawing, an axis of abscissa shows an optical output and an axis of ordinate shows the rate of a nitride system semiconductor light emitting device of having caused self-oscillation. The black dot in drawing expresses the nitride system semiconductor light emitting device of this invention. Moreover, the white round head in drawing is an example of a comparison, and shows the nitride system semiconductor light emitting device in which the layer-like absorption field was formed, instead of the island-shape absorption field. When explained in more detail about this example of a comparison, the $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ absorption layer of 10nm of thickness was prepared in the outside of a guide layer, in view of the barrier layer.

[0029] The rate which produces self-oscillation in the example of a comparison which prepared the layer-like absorption field from drawing 4 is low, and the nitride system semiconductor light emitting device of this invention in which the island-shape absorption field was formed to moreover not being stable covers high power from low-power output, and the probability for the nitride system semiconductor light emitting device which produces self-oscillation to be obtained is stabilized, and it turns out that it is high.

[0030] Drawing 6 is a mimetic diagram explaining the condition of having applied the semiconductor laser by this invention to data read-out of an optical disk. That is, in this drawing, a laser beam 150 is emitted from the semiconductor laser component which is not illustrated, it converges with a lens 152, and incidence is carried out to an optical disk 160. A track 162 is formed on a concentric circle and the pit 164 is formed in the front face of an optical disk 160 along the track 162. The laser beam which converged with the lens 152 is detected in the light sensing portion which a reflection factor changes and is not illustrated according to the existence of this pit 164. Here, when the laser beam whose wavelength obtained from the nitride system semiconductor laser by this invention is 420nm is used, as shown in this drawing, it can converge with a lens and narrow beam 154A can be obtained extremely. The conventional laser beam 154B of a DVD system (wavelength: $\lambda=650\text{nm}$, area-ratio-of-orifice: $\text{NA}=0.6$) and laser beam 154C of a compact disc system (wavelength: $\lambda=780\text{nm}$, area-ratio-of-orifice: $\text{NA}=0.45$) were shown in this drawing for the comparison. When the nitride system semiconductor laser of this invention is used so that clearly from these comparisons, the laser beam which converged extremely can be obtained and spacing of the track 162 in an optical disk 160 and spacing of a pit 164 can be reduced, respectively. Even if it compares with the conventional DVD system as the result, storage capacity can be increased about 3 times.

[0031] Furthermore, according to the nitride system semiconductor laser of this invention, read-out and the writing from an optical recording medium are attained by the same nitride system semiconductor laser. That is, since self-oscillation is produced easily, the semiconductor laser of this invention is stabilized in a low noise, can perform data read-out, and since high power actuation is still more possible, it can also perform data write-in actuation. As the result, the structure of a pickup head where read-out and the writing of data can be made to serve a double purpose can be simplified by leaps and bounds.

[0032] In addition, in the example mentioned above, although the multiplex quantum well adjacent layer 104 used the thing of the well layer of three pairs, and a barrier layer, it can determine the number of pairs suitably with the thickness of a layer, and the presentation of In. Moreover, the ingredient which was not limited to GaN but contained In, aluminum, etc. is sufficient as a barrier layer.

[0033] Next, the 2nd operation gestalt of this invention is explained. Drawing 7 is a sectional view explaining the outline configuration of the nitride system semiconductor laser concerning the 2nd operation gestalt of this invention. Setting to this drawing, 200 is a p mold SiC substrate and 201 is a p mold AlN buffer layer (a Mg dope). Three to $5 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ or 0.1 micrometers and 202 are a p mold GaN layer (a Mg dope). $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ or 4 micrometers and 203 are a p mold aluminum0.3 Ga0.7 N cladding layer (Mg doping). $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ or 0.3 micrometers and 204 are an aluminum0.1 Ga0.9 N adjacent layer (undoping). 0.1 micrometers and 205 are multiplex quantum well barrier layer In0.1 Ga0.9 N/aluminum0.1 Ga0.9 N (undoping). Well width of face of 1nm, obstruction width of face of 2nm, and 3 and 206 pairs are an aluminum0.1 Ga0.9 N adjacent layer (undoping). 0.1micrometer and 207 are an n mold aluminum0.3 Ga0.7 N cladding layer (an Si dope). For $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ or 0.3 micrometers and 208, as for an n mold GaN contact layer (Si DO 1 PU, one to $3 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ or 0.1 micrometers), and 210, a p mold GaN current constriction layer (Mg dope, $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ or 0.1 micrometers) and 209 are [n lateral electrode and 211] p lateral electrodes.

[0034] The manufacture approach of this nitride system semiconductor laser is as follows. It grows up to the p mold GaN current constriction layer 208 by the introduction MOCVD method, and is after that. A mask (not shown) is formed with photolithography in part on the p mold GaN current constriction layer 208, and it etches until the n mold aluminum0.3 Ga0.7 N cladding layer 207 is exposed. Next, the p mold GaN contact layer 209 is grown up. An electrode is formed in both sides and the end face (facet) of a resonator is formed by cleavage

after that.

[0035] In this operation gestalt, it manufactures according to the same process as the multiplex quantum well adjacent layer 104 of an operation gestalt which also mentioned above the $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ /aluminum $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ multiplex quantum well barrier layer 205. TMA (trimethylaluminum), TMG, and ammonia gas are used for growth of an AlGaIn layer at growth of InGaIn using TMG, TMI, and ammonia gas, and, specifically, it is V/III of the growth temperature of 860 degrees C, and a raw material. A ratio makes 1 second growth downtime in about 170 each class, and makes it grow up repeatedly 3 times. Consequently, a multiplex quantum well layer with 2nm of well thickness, 4nm of obstruction thickness, and three ** A can be formed.

[0036] Of such a process, many fields are locally formed also in a part for the well layer of the multiplex quantum well barrier layer 205 for an indium (In) presentation. In each well layer, the island-shape field of the diameter of 2nm and about 20% of In presentations is distributed in a field, and, specifically, a large number formation is carried out. Compared with the circumference, according to there being much In, a lattice constant shifts and this field requires distortion. As the result, although there are many contents of In, a band gap has only a surrounding field and the difference among 10 or less meVs. If a current is poured into this semiconductor laser, since [with little Si of a dopant] conductivity is low, in this island-shape field where In presentation is high, luminescence will be performed efficiently.

[0037] Drawing 8 is a mimetic diagram showing the result of having observed this barrier layer 205 with the transmission electron microscope (transmission electron microscope). That is, in the barrier layer 205, the island-shape field which serves as high concentration from the circumference is regular to field inboard, and In concentration is located in a line. The diameter of this indium high concentration presentation field was 70nm in general, and that spacing was 200nm in general. Moreover, it became clear [that spacing of this island-shape field is controllable, or] by changing growth conditions as a result of the experiment of this invention person.

[0038] When the refractive index of the periphery of d and this island-shape field was set to n, and the luminescence wavelength of a high concentration field was λ , most, the case of $m/2n = d/\lambda$ ($m = 1, 2, 3, 4$) was able to be stabilized in self-oscillation, and was able to produce spacing between this island-shape field. In addition, when m exceeded 4, the stability of self-oscillation fell. This is considered to be because for a large number oscillation mode to usually be chosen.

[0039] Even if it did not use complicated structure like a distributed feedback laser, while being able to perform self-oscillation according to this operation gestalt, it turned out that mode hopping can be controlled and low noise-ization can be realized.

[0040] Drawing 9 is a graph showing the optimal growth conditions in each with a luminescence wavelength of 400-430nm. That is, the axis of abscissa of this drawing is growth temperature (degree C), and an axis of ordinate shows the content rate (%) of In, and indicates the optimum conditions of growth temperature to be the content rate of In in a solid phase in each luminescence wavelength.

[0041] There are few donors in the island-shape indium high concentration field formed in a barrier layer. Therefore, an island-shape field has high luminous efficiency, and promotes the stable existence of an exciton molecule with high luminous efficiency (dipole) by the still more nearly quantum locked-in effect. It is possible to form sufficient inverted population to carry out laser oscillation by this, although the island-shape field of quantity In concentration is minute in volume. On the other hand, in the surrounding low In field of the field of high concentration [In], although it is larger than an island-shape field, since a donor exists, a band gap works as a saturable absorption layer by absorption by the level, and will be in a self-oscillation condition. Even if it was this condition at the high power time, it was maintained.

[0042] About the impurity doped to a barrier layer, it rises [a threshold] except Si, C, germanium and Sn used as n mold, and Pb and was not practical. On the other hand, in the case of Si, high luminous efficiency was acquired especially.

[0043] In the semiconductor laser of this structure, 375nm was obtained, and carried out the basic transverse-mode oscillation at the threshold of 10mA, and oscillation wavelength also checked the operational stability by 5000 hours. With this operation gestalt, although SiC was used as a substrate, the current potential property which was further excellent in the case of the ZnO substrate was acquired that what is necessary is just a conductive substrate. Moreover, the current constriction layer 208 may be formed in a substrate 200 side to a barrier layer 205, and may be prepared in the both sides of a barrier layer 205. Moreover, compared with a contact layer, an ingredient with a high refractive index is sufficient as the ingredient of a current constriction layer.

[0044] Next, the 3rd operation gestalt of this invention is explained. Drawing 10 is the sectional view of nitride system semiconductor laser showing the 3rd operation gestalt of this invention. In this drawing, 300 is a sapphire substrate and 301 is a GaN buffer layer (0.01 micrometers). 302 A p mold GaN contact layer (Mg dope, three to $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ or 1 micrometer), 303 is a p mold aluminum $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ cladding layer (a Mg dope). $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ or 0.3 micrometers and 304 are a p mold GaN adjacent layer (a Mg dope). $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ or 0.1 micrometers and 305 are $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ / GaN multiplex quantum well barrier layer (undoping). Well width of face of 2nm, obstruction width of face of 4nm, and 3 and 306 pairs are an n mold GaN adjacent layer (an Si dope). $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ or 0.1 micrometers and 307 are an n mold aluminum $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ cladding layer (an Si dope). For $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ or 0.3 micrometers and 308, as for an n mold GaN contact layer (Si dope, one to $3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ or 0.5 micrometers), and 310, a p mold GaN energization barrier layer (Mg dope, $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$

or 0.3 micrometers) and 309 are [n lateral electrode and 311] p lateral electrodes.

[0045] The outline of the manufacture approach is described below. Crystal growth was performed by the MOCVD method, introduction and the sapphire substrate 300 — MOCVD — although the GaN buffer layer 301 was grown up by law, the sapphire substrate 300 used the thing containing the slit-like break 320, as shown in drawing 11 (a) and (b). Here, opening of a break 320 can set spacing of abbreviation 250micrometerx30micrometer and breaks to about 250 micrometers.

[0046] In this operation gestalt, the GaN buffer layer 301 is first grown up on the conditions to which a lateral growth rate becomes quick on the sapphire substrate 300. That is, migration of the GaN atom on the front face of a substrate increases by making growth temperature high enough to the speed of supply of GaN at the time of crystal growth. By growing up the buffer layer 301 on such conditions, the part of the break 320 of the sapphire substrate 300 will be in the condition of being closed by the GaN buffer layer 301.

[0047] Then, it grows up one by one in the state of the usual growth from the p mold GaN contact layer 302 to the p mold GaN energization barrier layer 308. After growing up to the p mold GaN energization barrier layer 308, a mask (not shown) is partially formed on the p mold GaN energization barrier layer 308 by the photolithography. It etches until the n mold aluminum0.2 Ga0.8 N cladding layer 307 is exposed. Next, a mask is removed and the n mold GaN contact layer 309 is grown up. On the contact layer 309, nickel and Au are vapor-deposited and the n lateral electrode 310 is formed. Moreover, etching removes the GaN buffer layer 301 from a substrate 300 inferior-surface-of-tongue side, the sequential vacuum evaporation of Pt, Ti, and the Au is carried out, and the p lateral electrode 311 is formed. In order to make this into a laser component, an end face (not shown) is formed by cleavage, dicing separates a semi-conductor light emitting device, and the semiconductor laser of drawing 10 is obtained. Although not illustrated to an end face, the high reflective coat by dielectric multilayers is given.

[0048] Next, the concrete growth conditions of the above-mentioned In0.2 Ga0.8 N/GaN multiplex quantum well barrier layer 305 in this operation gestalt are explained. Growth temperature is 740 degrees C and, as for a GaN layer, an InGaN layer uses TMG and ammonia gas using TMG, TMI, and ammonia gas. A GaN barrier layer stops TMI for 7 seconds on the growth conditions from which, as for an InGaN well layer, 1 micrometer/h is obtained for a growth rate by thick-film growth of In0.2 Ga0.8 N, and growth for 20 seconds is performed. Moreover, the standby time for 1.5 seconds is established between growth of an InGaN well layer and a GaN barrier layer. although a thick film differs in a growth rate from a thin film like a quantum well even when growth conditions are the same, this is because growth rates differ in the initial process of growth. By performing such growth, many parts are locally formed for In presentation at a part for a well layer in In0.2 Ga0.8 N / GaN multiplex quantum well barrier layer 305. Specifically, a large number are formed in each well layer in the field of the diameter of 2nm, and about 30% of In presentations. This field requires distortion according to there being much In compared with the circumference, and thereby, although there is much In, a band gap has only a surrounding field and the difference among 10 or less meVs. When current impregnation is performed to this nitride system semiconductor laser, in this field where In presentation is high, there is little Si of a dopant, conductivity is low, and carrier injection is mainly performed around it.

[0049] Drawing 12 is a mimetic diagram showing the result of observation by the transmission electron microscope of a barrier layer 305. That is, as a result of observing a lattice image with an electron microscope, in the barrier layer 305, being dotted with the island-shape field of a several nm diameter was observed. As a result of investigating the presentation of this island-shape field using a characteristic-X-ray analysis-of-a-spectrum method, it was checked that In concentration is higher than a perimeter. Furthermore, as a result of observing by the cathodoluminescence method, the point regularly located in a line corresponding to this island-shape field emitting light has been observed.

[0050] It is thought that the cause that such an island-shape field is formed is because island-shape growth takes place in order to grow up InGaN which does not carry out lattice matching to GaN on GaN. Here, this invention person investigated about the relation between the diameter of the island-shape field formed on various growth conditions, and the external quantum efficiency of semiconductor laser.

[0051] Drawing 13 is a graph showing the relation between island-shape area size and external quantum efficiency. That is, in this drawing, an axis of ordinate expresses external quantum efficiency, and an axis of abscissa expresses the pitch diameter of an island-shape field. The inclination which external quantum efficiency increases was acquired, so that the diameter of an island-shape field became small, as shown in this drawing. In order to acquire high external quantum efficiency especially, as for the diameter of an island-shape field, it is desirable that it is 100nm or less. When the path of an island-shape field became large more than this, it turned out that luminous efficiency falls remarkably as shown in drawing 13.

[0052] Next, as a result of this invention person's investigating two-dimensional distribution of the concentration of the indium of an island-shape field and its periphery in a detail, in order for an island-shape field 100nm or less to exist [a diameter], in the edge of an island-shape field, it turned out that indium concentration needs to change at 10% or more of a rate every 2nm. That is, in the edge of an island-shape field, when there was an increment in the steep indium concentration beyond this, it turned out that an island-shape field with a diameter of 100nm or less may exist.

[0053] Since the high In presentation section in a barrier layer has few donors, the part with high In presentation has good luminous efficiency. Moreover, the stable existence of an exciton molecule with sufficient luminous efficiency is urged by the quantum locked-in effect. Thereby, although the island-shape

high In field is minute in volume, it can form sufficient inverted population to oscillate. And although a band gap is larger than an island-shape high concentration field, since a donor exists, it works as a saturable absorption layer by absorption by the level, and the surrounding low In field of an island-shape high concentration field will be in a self-oscillation condition. Even if it was this condition at the high power time, it was maintained.

[0054] It rises [except Si, C, germanium and Sn used as n mold, and Pb / a threshold] as an impurity doped to a barrier layer and was not practical. Since the GaN buffer layer 301 grown up into the longitudinal direction is formed in the bottom of a barrier layer with this operation gestalt, it is extremely few in a rearrangement or a defect. As the result, leakage current is controlled and destruction of a semi-conductor light emitting device could not take place easily, either.

[0055] Moreover, room temperature continuous oscillation of the semiconductor laser of this operation gestalt was carried out with the threshold of 20mA, oscillation wavelength was 420nm and operating voltage was 3.8V. Moreover, S/N at the time of 50mW actuation improved notably with 130dB compared with 20dB of the conventional semiconductor laser which does not use this structure by performing self-oscillation. Moreover, since quantum well structure was adopted as a barrier layer, when 200mW and self-oscillation were not maintained by self-oscillation, it was able to do [obtaining 300mW high power or]. Moreover, the life of a semi-conductor light emitting device was expected to be 100,000 hours or more from the degradation inclination in the LIFE test, and has realized a low noise, high power, and high-reliability.

[0056] Quartz glass, a diamond, BN, etc. are sufficient in whether the sapphire substrate is used as a substrate with this operation gestalt. further — as the growth approach — MBE (MolecularBeam Epitaxy) — if law is used, Pyrex glass, ZnO, etc. can be used as a substrate.

[0057] Next, the 4th operation gestalt of this invention is explained. Fig. 14 is for explaining the outline configuration of the nitride system semi-conductor light emitting diode (LED) concerning the 4th operation gestalt of this invention. In this drawing a sapphire substrate and 401 400 Å GaN buffer layer (three to 5x10¹⁸cm⁻³ or 4 micrometers), 402 An n mold GaN contact layer (Si dope, 1x10¹⁸cm⁻³ or 2 micrometers), 403 An n mold GaN layer (Si dope, 5x10¹⁷cm⁻³ or 0.1 micrometers), 404 is In_{0.3} Ga_{0.7} N/GaN. 3MQW barrier layer (Si dope, 2nm of well layers, 4nm of barrier layers), 405 A p mold GaN layer (Mg dope, 5x10¹⁷cm⁻³ or 0.1 micrometers), For 406, as for p lateral electrode and 411, a GaN contact layer (Mg dope 3x10¹⁸cm⁻³ or 0.05 micrometers) and 410 are [n lateral electrode and 412] ITO (Indium Tin Oxide) transparent electrodes.

[0058] each semi-conductor layer of this drawing — MOCVD — it grew up by law. At the time of growth of a barrier layer 404, growth downtime was prepared for 3 seconds from 1 second after growth of each In_{0.3} Ga_{0.7} N well layer, and In concentration created the high island-shape field. Until it masks the part used as p electrode after . growth which performed growth of those other than a barrier layer by the usual growth approach and the n mold GaN contact layer 402 is exposed In the part by which . mask which carries out dry etching and forms a mesa configuration is removed, and leakage current, such as a side face of a mesa, tends to flow, it is SiO₂. Form a whole surface transparent electrode in the top face of attached . mesa configuration, and the p lateral electrode 410 is formed in a part far from the n lateral electrode 411 by the part [further]. The place which the field where In is higher than the surroundings was observed by the amount of well layer when the light emitting device was decomposed after . creation made into the semi-conductor light emitting device structure in which the n lateral electrode 411 was formed and the barrier layer part was observed with the transmission electron microscope, and investigated the field with . which was the diameter of about 4nm, and characteristic X ray, . whose optical output of the operating voltage of . component, as for this high concentration field, it turned out to be that many In concentration is contained about 10% compared with the field where surrounding In concentration is low was 10mW in 10mA 2.7V — again . to which . luminous efficiency which was 50mW is also good, and external quantum efficiency reached to 30% in 100mA — that it was efficient and luminescence reinforcement has such realized the strong component Although the blue chisel is used as the light source with . book operation gestalt which is because it recombined without having confined in the high In concentration field the carrier poured into the field where In concentration in a barrier layer is high, and carrying out nonluminescent recombination If luminescence becomes possible to the wavelength near red light and a filter etc. is used by increasing the quantity of the amount of In(s) in a barrier layer, red, green, and blue three primary colors are made, and the full color light emitting device of a GaN system can also be realized.

[0059] Next, the 5th operation gestalt of this invention is explained. Drawing 15 is for explaining the outline configuration of the nitride system semi-conductor light emitting device concerning the 5th operation gestalt of this invention. It sets to the light emitting device shown in this drawing, and they are the buffer layer 501 and an n mold GaN contact layer (an Si dope) on silicon on sapphire 500. 3-5x10¹⁸cm⁻³, 4micrometer502, an n mold AlGaIn cladding layer (an Si dope) 5x10¹⁷cm⁻³, 0.3micrometer503, the non dope GaN adjacent layer (0.1 micrometer) 504, the InGaIn multiplex quantum well (MQW) barrier layer 505, the non dope GaN adjacent layer (0.1 micrometers) 506, a p mold AlGaIn cladding layer (a Mg dope) 5x10¹⁷cm⁻³, 0.3micrometer507, the p mold GaN contact layer (Mg dope, 5x10¹⁸cm⁻³ or 0.5 micrometers) 508, and SiO₂ The laminating of the film (silicon dioxide) 509 is carried out one by one. Moreover, 510 is p lateral electrode and 511 is n lateral electrode.

[0060] The manufacture approach is as follows. The buffer layer 501 is grown up on a substrate 500 by the MOCVD method, and then they are TMG (trimethylgallium) and TMA (trimethylaluminum) at the growth

temperature of 1100 degrees C. The laminating of the n mold GaN contact layer 502, the n mold AlGaIn cladding layer 503, and the non dope GaN adjacent layer 504 is carried out one by one using ammonia, hydrogen, and nitrogen.

[0061] Next, supply of an III group's material gas is suspended and substrate temperature is lowered at 760 degrees C. a part for 10L/and nitrogen are 19.7L/shunted for ten cc a part for /and ammonia at 20 degrees C by making hydrogen gas into carrier gas, in addition to this, by making nitrogen into carrier gas, TMI (trimethylindium) is changed 20 times every 1.5 [about] repeatedly, and is supplied [TMG is kept at -15 degree C,] in 500 cc a part for /and the combination for 15 cc/by 37 degrees C with this temperature, and the InGaIn multiplex quantum well barrier layer 505 is grown up.

[0062] Then, growth is stopped by stopping supply of TMG and TMI, and the temperature up of the hydrogen is carried out, covering ammonia for 4 minutes to 1100 degrees C with a sink by the flow rate for 10L/covering 40 cc a part for /and nitrogen by part for 19.96L/. Subsequently, temperature is held at 1100 degrees C, a part for 14.5L/and TMG are carried out for 100 cc/, flow rate supply of the ammonia is carried out [hydrogen] for 10L/for 500 cc a part for /and nitrogen, and the laminating of the non dope GaN adjacent layer 506 is carried out. next — this — Cp2 — Mg (bis(cyclopentadienyl) magnesium) and TMA are added, the p mold AlGaIn cladding layer 507 is formed, then supply of TMA is stopped, and the laminating of the p mold GaN contact layer 508 is carried out. Then, SiO₂ The nitride system semi-conductor light emitting device shown in drawing 15 through the stroke of vacuum evaporation of deposition of the film 509, photolithography, etching, the p lateral electrode 510, and the n lateral electrode 511, an alloy, etc. is completed.

[0063] In addition, in the above-mentioned process, although the elevated temperature of the growth temperature was carried out to 760 degrees C after growing up an adjacent layer 504, as for this temperature, it is desirable that it is [700 degrees-C or more] 850 degrees C or less. Below, this reason is explained.

[0064] this invention person makes total of the flow rate of material gas and carrier gas 30l. per minute first, in order to investigate the growth conditions of InGaIn, and he is V group element and III. Flow rate of the gas of a group element was set to 8400, and InGaIn was grown up at various growth temperature. When photoluminescence (Photo Luminescence:PL) estimated this, as shown in Table 1, PL luminescence of sufficient reinforcement has been observed in the 700-degree-C or more range of 850 degrees C or less. If growth temperature is less than 700 degrees C, growing up will become inadequate and PL luminescence reinforcement will not go up. If growth temperature exceeded 850 degrees C, in order that a crystal might receive a damage, PL luminescence reinforcement decreased extremely.

[0065]

[Table 1]

成長温度 (°C)	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900
PL 発光強度 (任意目盛)	0.5	0.5	0.7	1.3	6.7	8.6	9.5	9.5	8.3	7	6.5	0.9	0.3

[0066] Next, this invention person fixes growth temperature to 760 degrees C, makes total of the flow rate of material gas and carrier gas 30l. per minute, and is V group element and III. The molar flow rate ratio dependency of a group element was investigated. Consequently, as shown in Table 2, they are V group element and III. PL luminescence of reinforcement with the molar flow rate ratio of a group element sufficient by 15000 or less [1000 or more] was seen. V group element and III If the molar flow rate ratio of a group element is less than 1000, in order not to fully react, PL luminescence reinforcement does not go up. V group element and III If the molar flow rate ratio of a group element exceeds 15000, originally it is III. V group element interrupts and reacts also to the crystal lattice to which a group element should react, and it is III. Since a group element was not fully able to react, PL luminescence reinforcement decreased extremely.

[0067]

[Table 2]

V / III 比	700	1000	3000	5000	8400	11500	13000	15000	17000
PL 発光強度 (任意目盛)	0.3	6.7	7.5	9.2	10	9.7	8.5	7.3	0.5

[0068] Furthermore, growth temperature is fixed to 760 degrees C, and they are V group element and III. When flow rate of a group element was set to 8400 and the dependency over the total flow around for [of all material gas and carrier gas] 1 minute was investigated, as shown in Table 3, PL luminescence of reinforcement with the total flow sufficient by 10l. or more and 50l. or less around for 1 minute was seen. If the total flow around for 1 minute is less than 10l., in order not to fully react, PL luminescence reinforcement does not go up. If the total flow around for 1 minute exceeded 50l., since the rate of flow became early and sufficient reaction time was not able to be taken, PL luminescence reinforcement decreased extremely.

[0069]

[Table 3]

総流量 (1/分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
PL発光強度 (任意目盛)	0.2	5.7	6.3	7.5	9.2	10	9.5	8.2	7.3	5.3	0.2

[0070] With this operation gestalt, the InGaN multiplex quantum well barrier layer 505 and the non dope GaN adjacent layer 506 have not doped intentionally. According to the experiment of this invention person, when it grows up as mentioned above, it turns out that the direction of a GaN layer is high resistance from an InGaN layer. Moreover, place which observed the cross section by TEM (transmission electron microscope) although it grew up as mentioned above It turned out that a hole-like field (pit) exists in the InGaN multiplex quantum well barrier layer 505, this pit is embedded by the non dope GaN adjacent layer 506, and flattening is carried out. Therefore, according to the semi-conductor light emitting device of the aforementioned operation gestalt, self-oscillation arises by the principle expressed below.

[0071] That is, since the inside of a barrier layer is made as for distribution to the flowing current and a low current consistency field turns into a saturable absorption field when a hole-like field exists in a barrier layer, self-oscillation arises. This is explained in full detail below.

[0072] Drawing 16 is the cross section showing the flow of the inrush current in the light emitting device of this operation gestalt. In this drawing, in order to make it intelligible, the structure which simplified the structure of the light emitting device shown in drawing 16 is illustrated and explained. As shown in drawing 16, there is a heterojunction of the non dope GaN layer 553 and the non dope InGaN layer 554, and, moreover, there is a hole (pit) P in the interface by the side of the non dope InGaN layer 554. The p lateral electrode 551 and the n lateral electrode 556 are connected to both through p mold contact layer 552 and n mold contact layer 555, respectively.

[0073] Now, supposing it applies an electrical potential difference to two electrodes in the forward direction, compared with the non dope InGaN layer 554, the direction of the non dope GaN layer 553 will flow, as the arrow head in drawing 16 shows a current, since the band gap is large, and, as for the current density of the part under the hole-like field of the InGaN layers 554, will become a non-dense compared with the current density of other fields.

[0074] this invention person performed 2-dimensional simulation, in order to prove this phenomenon, and he investigated distribution of a current. The layer structure used for drawing 17 in simulation is shown. Layer structure imitates laser structure. The n mold GaN contact layer 561 with $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ – a thickness of 0.1 micrometers doped by 3, the n mold aluminum0.15Ga0.85N cladding layer 562 with $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ – a thickness of 0.3 micrometers doped by 3, the non dope GaN adjacent layer 563 with a thickness of 0.1 micrometers, The non dope In0.08Ga0.92N barrier layer 564 with a thickness of 0.1 micrometers, the non dope GaN adjacent layer 565 with a thickness of 0.1 micrometers, the p mold aluminum0.15Ga0.85N cladding layer 566 with $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ – a thickness of 0.3 micrometers doped by 3, It consists of a p mold GaN contact layer 567 with $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ – a thickness of 0.1 micrometers doped by 3. The hole-like field (pit) P with a width of face [of 0.1 micrometers] and a depth of 0.05 micrometers kept spacing which is 1 micrometer in the interface which touches the non dope GaN adjacent layer 563 of the non dope In0.08Ga0.92N barrier layer 564, and is located in a line with it. In such a rectangle, although there was not necessarily no configuration of an actual pit, it performed simulation in such a configuration for facilitation of count. It cannot be overemphasized that the difference in a configuration does not do effect essential to a simulation result.

[0075] Distribution of the current density directly under the hole-like field (pit) when impressing the electrical potential difference of 4V to such structure is shown in drawing 18. Current density is decreasing 30% or more in the part of a pit. Thus, it became clear that the roughness and fineness of a current are brought about by existence of a hole-like field. And in case such current distribution will arise and laser oscillation arises, an oscillation will start in a part with a dense current first, and the part whose current is a non-dense will serve as a saturable absorber. In addition, it was a result with the same said of the case where the adjacent layer is doped by not a non dope but $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$. Thus, the roughness and fineness of a current will occur in a hole-like field existing. And a current serves as a saturable absorber and the part of a non-dense can realize self-oscillation.

[0076] Next, the gestalt of operation of the 6th of this invention is explained. Drawing 19 is for explaining the outline configuration of the nitride system semi-conductor light emitting diode concerning the 6th operation gestalt of this invention. Namely, it sets to the light emitting diode of this drawing. On the sapphire substrate 600, they are the buffer layer 601 and an n mold GaN cladding layer (an Si dope). $3-5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, 4micrometer602, the non dope InGaN barrier layer (0.2 micrometers) 603, a p mold GaN cladding layer (a Mg dope) The laminating of $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ or 0.3 micrometers of 604 and the p mold GaN contact layers (Mg dope, $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ or 0.5 micrometers) 605 is carried out one by one. Moreover, 610 is p mold transparent electrode and 611 is n mold electrode.

[0077] Thus, creation of the nitride system semi-conductor light emitting diode concerning the 6th operation gestalt of this invention forms a hole-like field (pit) in the interface by the side of the p mold GaN cladding layer 604 of the non dope InGaN barrier layer 603. Thus, irregularity will arise by a pit being formed. Partial 603A of a convex is the InGaN layer surrounded by GaN in the perimeter. Thus, an exciton will carry out localization of the perimeter to the field surrounded with the large ingredient of a band gap, and luminous efficiency increases. That is, light emitting diode with high luminous efficiency can be obtained by doing in this

way and using this invention.

[0078] Next, the gestalt of operation of the 7th of this invention is explained. Drawing 20 is for explaining the outline configuration of the nitride system semi-conductor light emitting device concerning the 7th operation gestalt of this invention. Setting to this drawing, for silicon on sapphire and 701, a buffer layer and 702 are [700] an n mold GaN contact layer (an Si dope). Three to $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ or 4 micrometers and 703 are an n mold AlGaIn cladding layer (an Si dope). $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, 0.3 micrometer, and 704 are an n mold $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ multiplex quantum well adjacent layer (an Si dope). $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ and well width of face of 2nm, obstruction width of face of 4nm, 20 layers, and 705 are an $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ multiplex quantum well barrier layer (non, a dope). Well width of face of 2nm, obstruction width of face of 4nm, ten layers, and 706 are a p mold GaN adjacent layer (a Mg dope). $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ or 0.1 micrometers and 707 are a p mold AlGaIn cladding layer (a Mg dope). For $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, 0.3 micrometers, and 708, a p mold GaN contact layer (Mg dope, $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ or 0.5 micrometers) and 709 are SiO_2 . As for the film and 710, p lateral electrode and 711 are n lateral electrodes.

[0079] The n mold $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ multiplex quantum well adjacent layer 704 is grown up as follows. Growth temperature is 760 degrees C and is TMI, TMG, ammonia, and SiH_4 in growth of an $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ well layer. It uses and the well layer whose thickness is 2nm is grown up. Next, TMI, TMG, ammonia, and SiH_4 where only ammonia is supplied for 1 second, after standing by It uses and the $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ barrier layer whose thickness is 4nm is grown up. Next the standby time for 1 second is set again, and a well layer is grown up similarly. The n mold $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ multiplex quantum well adjacent layer 704 can be formed by repeating such a process a total of 20 times.

[0080] moreover — The growth approach of the $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ multiplex quantum well barrier layer 705 is as follows. At the growth temperature of 760 degrees C, 2nm grows $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ and $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ is grown up in the standby time for 1 second. This cycle is repeated a total of 10 times.

[0081] It becomes possible to form the structure where the n mold $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ multiplex quantum well adjacent layer 704 and the $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ multiplex quantum well barrier layer 705 have an island-shape field, and have a pit by such growth approach.

[0082] In the above, the gestalt of operation of this invention was explained, referring to an example. However, this invention is not limited to these examples. For example, it may be doped by n mold or p mold although a barrier layer is a non dope layer with the 1st to 7th operation gestalt mentioned above. Moreover, even if the layer which adjoins this is not doped, it may be doped by n mold and p mold. In addition, in the range which does not deviate from the summary, this invention deforms variously and can be carried out.

[0083]

[Effect of the Invention] As explained in full detail above, according to the nitride system semiconductor laser of this invention, it is obtained by the probability for the nitride system semi-conductor light emitting device which produces self-oscillation to be high, without using complicated structure. The semiconductor laser which filled the engine performance usable [with this] as semiconductor laser for read-out of the optical disk record with the property of a low noise can be created easily cheaply, and the usefulness is greatest. Furthermore, read-out and the writing from a record medium were attained by the nitride system semiconductor laser of the same structure, and the structure of a read-out write-in combination head has been simplified by leaps and bounds. On the other hand, according to the nitride system semi-conductor light emitting diode of this invention, nitride system light emitting diode with high luminous efficiency was obtained.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPJ are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the sectional view showing the 1st operation gestalt of the nitride system semi-conductor light emitting device of this invention.

[Drawing 2] It is a mimetic diagram showing the illuminant cloth within a field of the multiplex quantum well adjacent layer 104 shown in drawing 1 .

[Drawing 3] It is the graph which shows the relation between In presentation ratio in the multiplex quantum well adjacent layer 104 shown in drawing 1 , and donor concentration.

[Drawing 4] It is the mimetic diagram showing the band structure in the multiplex quantum well adjacent layer 104 shown in drawing 1 .

[Drawing 5] It is the graph which shows the self-oscillation occurrence rate to the optical output of the nitride system semi-conductor light emitting device shown in drawing 1 .

[Drawing 6] It is a mimetic diagram explaining the condition of having applied semiconductor laser to read-out of an optical disk.

[Drawing 7] It is the sectional view showing the 2nd operation gestalt of the nitride system semi-conductor light emitting device of this invention.

[Drawing 8] It is a mimetic diagram showing the result of having observed the barrier layer 205 shown in drawing 7 with the transmission electron microscope.

[Drawing 9] It is the graph which shows the manufacture conditions of the nitride system semi-conductor light emitting device shown in drawing 7 .

[Drawing 10] It is the sectional view showing the 3rd operation gestalt of the nitride system semi-conductor light emitting device of this invention.

[Drawing 11] It is the schematic diagram showing the structure of the substrate used for the nitride system semi-conductor light emitting device shown in drawing 10 , and (a) is a top view and (b) is a side elevation.

[Drawing 12] It is a mimetic diagram showing the result of observation by the transmission electron microscope of a barrier layer 305 shown in drawing 10 .

[Drawing 13] It is the graph which shows the relation between the pitch diameter of an island-shape field, and the external quantum efficiency of a semi-conductor light emitting device in the barrier layer 305 shown in drawing 10 .

[Drawing 14] It is the sectional view showing the 4th operation gestalt of the nitride system semi-conductor light emitting device of this invention.

[Drawing 15] It is the sectional view showing the 5th operation gestalt of the nitride system semi-conductor light emitting device of this invention.

[Drawing 16] An adjacent layer is the schematic diagram showing the current path of a thing [than a barrier layer] case with a larger band gap.

[Drawing 17] It is the schematic diagram showing the layer structure used by the two-dimensional simulation.

[Drawing 18] It is the distribution map of the current density directly under the hole-like field when impressing the electrical potential difference of 4V in the two-dimensional simulation to the component shown in drawing 17 .

[Drawing 19] It is the sectional view showing the 6th operation gestalt of the nitride system semi-conductor light emitting device of this invention.

[Drawing 20] It is the sectional view showing the 7th operation gestalt of the nitride system semi-conductor light emitting device of this invention.

[Description of Notations]

100 Sapphire Substrate,

101 N Mold GaN Buffer Layer

102 N Mold GaN Contact Layer

103 N Mold AlGaIn Cladding Layer

104 N Mold In_{0.1} Ga_{0.9} N / GaN Multiplex Quantum Well Adjacent Layer

105 In_{0.3} Ga_{0.7} N/GaN Multiplex Quantum Well Barrier Layer

106 P Mold GaN Adjacent Layer

107 P Mold AlGaIn Cladding Layer

108 P Mold GaN Contact Layer

109 N Mold GaN Energization Barrier Layer

110 P Lateral Electrode
111 N Lateral Electrode
150 Laser Beam
152 Lens
154A The nitride system semiconductor laser beam by this invention
154B The laser beam of the conventional DVD system
154C The laser beam of a compact disc system
160 Optical Disk
162 Truck
164 Pit
200 P Mold SiC Substrate
201 P Mold AlN Buffer Layer
202 P Mold GaN Layer
203 P Mold Aluminum0.3 Ga0.7 N Cladding Layer
204 Aluminum0.1 Ga0.9 N Adjacent Layer
205 In0.1 Ga0.9 N/Aluminum0.1 Ga0.9 N Multiplex Quantum Well Barrier Layer
206 Aluminum0.1 Ga0.9 N Adjacent Layer
207 N Mold Aluminum0.3 Ga0.7 N Cladding Layer
208 P Mold GaN Current Constriction Layer
209 N Mold GaN Contact Layer
210 N Lateral Electrode
211 P Lateral Electrode
300 Sapphire Substrate
301 GaN Buffer Layer
302 P Mold GaN Contact Layer
303 P Mold Aluminum0.2 Ga0.8 N Cladding Layer
304 P Mold GaN Adjacent Layer
305 In0.3 Ga0.7 N/GaN Multiplex Quantum Well Barrier Layer
306 N Mold GaN Adjacent Layer
307 N Mold Aluminum0.2 Ga0.8 N Cladding Layer
308 P Mold GaN Energization Barrier Layer
309 N Mold GaN Contact Layer
310 N Lateral Electrode
311 P Lateral Electrode
400 Sapphire Substrate
401 GaN Buffer Layer
402 N Mold GaN Contact Layer
403 N Mold GaN Layer
404 In0.3 Ga0.7 N/GaN 3MQW Barrier Layer
405 P Mold GaN Layer
406 P Mold GaN Contact Layer
410 P Lateral Electrode
411 N Lateral Electrode
412 ITO Transparent Electrode
500 Silicon on Sapphire
501 Buffer Layer
502 N Mold GaN Contact Layer
503 N Mold AlGaN Cladding Layer
504 Non Dope GaN Adjacent Layer
505 InGaNMW Barrier Layer
506 Non Dope GaN Adjacent Layer
507 P Mold AlGaN Cladding Layer
508 P Mold GaN Contact Layer
509 SiO2 Film
510 P Lateral Electrode
511 N Lateral Electrode
551 P Lateral Electrode
552 P Mold Contact Layer
553 Non Dope GaN Layer
554 Non Dope InGaN Layer
555 N Mold Contact Layer
556 N Lateral Electrode
P Pit
561 N Mold GaN Contact Layer

562 N Mold Aluminum0.15Ga0.85N Cladding Layer
563 Non Dope GaN Adjacent Layer
564 Non Dope In0.08Ga0.92N Barrier Layer
565 Non Dope GaN Adjacent Layer
566 P Mold Aluminum0.15Ga0.85N Cladding Layer
567 P Mold GaN Contact Layer
600 Sapphire Substrate
601 Buffer Layer
602 N Mold GaN Cladding Layer
603 Non Dope InGaN Barrier Layer
604 P Mold GaN Cladding Layer
605 P Mold GaN Contact Layer
610 P Mold Transparent Electrode
611 N Mold Electrode
700 Sapphire Substrate
701 Buffer Layer
702 N Mold GaN Contact Layer
703 N Mold AlGaN Cladding Layer
704 N Mold In0.1 Ga0.9 N/In0.02Ga0.98N Multiplex Quantum Well Barrier Layer
705 In0.2 Ga0.8 N/In0.05Ga0.95N Multiplex Quantum Well Barrier Layer
706 P Mold GaN Adjacent Layer
707 P Mold AlGaN Cladding Layer
708 P Mold GaN Contact Layer
709 SiO2 Film
710 P Lateral Electrode
711 N Lateral Electrode

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-294532

(43) 公開日 平成10年(1998)11月4日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-38324

(22) 出願日 平成10年(1998)2月20日

(31) 優先権主張番号 特願平9-37798

(32) 優先日 平9(1997)2月21日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 斎藤 真司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 飯塚 紀夫

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 波多腰 玄一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 外川 英明

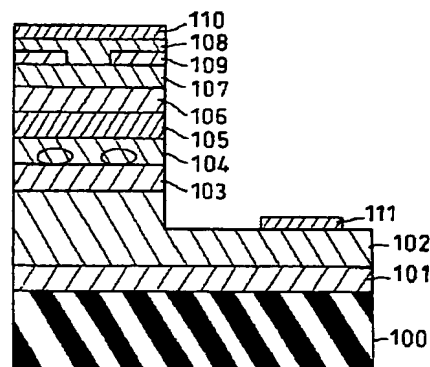
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物系半導体発光素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構造で自励発振を行うことが可能な窒化物半導体発光素子およびその製造方法を提供すること。

【解決手段】 窒化物系半導体発光素子の $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸活性層105または $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸活性層105に隣接する n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸隣接層104を可飽和吸収領域にすることにより自励発振を生じさせるようにした、光ディスク記録の読み出し用光ヘッドとして実用可能な性能を満たした窒化物系半導体発光素子及びその製造方法。



- 100: サファイヤ基板
- 101: n 型 GaN バッファ層
- 102: n 型 GaN コンタクト層
- 103: n 型 AlGaIn クラッド層
- 104: n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸隣接層
- 105: $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸活性層
- 106: p 型 GaN 障壁層
- 107: p 型 AlGaIn クラッド層
- 108: p 型 GaN コンタクト層
- 109: n 型 GaN 遮電層
- 110: p 側電極
- 111: n 側電極

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する 3 元以上の III-V 族化合物半導体からなる混晶層が積層形成された窒化物系半導体発光素子において、前記隣接層には、この隣接層を構成する 1 つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域の前記 1 つの元素の濃度は、前記六方晶系の結晶の C 軸に垂直な方向での組成の変化が 2 nm 以内で 10 パーセント以上異なり、また、前記島状領域の最大径が 100 nm 以下であり、かつ前記島状領域の不純物濃度が周辺部の不純物濃度に比べて低いことを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項 2】 前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれていることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 3】 前記隣接層には穴状領域が点在していることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 4】 前記隣接層は多重量子井戸構造を有しており、前記島状領域を形成する前記 1 つの元素はインジウム、アルミニウムまたはガリウムのうちの少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 5】 前記活性層は多重量子井戸構造を有しており、この活性層には、この活性層を構成する 1 つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域は、この領域を囲む領域の材料のバンドギャップに比べて同じか、または、10 meV 以内の差で小さいバンドギャップを有することを特徴とする請求項 1 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 6】 前記不純物は Si、C、Ge、Sn、Pb の内の少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 1 乃至 5 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 7】 前記島状領域相互の間隔を d 、その周辺部の屈折率を n 、前記島状領域の発光波長を λ とした時、 $\lambda m = 2nd$ ($m=1, 2, 3, 4$) を満たすことを特徴とする請求項 5 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 8】 前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれており、かつ、前記隣接層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層に隣接し活性層側ではない層を形成する半導体によって埋め込まれていることを特徴とする請求項 5 乃至 7 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 9】 基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する 3 元以上の III-V 族化合物半導体からなる混晶層が積層された窒化物系半導体発光素子において、前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれていることを特徴とする窒化物系半

導体発光素子。

【請求項 10】 前記隣接層には穴状領域が点在していることを特徴とする請求項 9 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 11】 前記活性層は多重量子井戸構造を有しており、この活性層には、この活性層を構成する 1 つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域は、この領域を囲む領域の材料のバンドギャップに比べて同じか、または、10 meV 以内の差で小さいバンドギャップを有することを特徴とする請求項 9 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 12】 前記活性層は多重量子井戸構造をなしており、少なくともその一部は InGaIn からなることを特徴とする請求項 9 記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項 13】 基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する 3 元以上の III-V 族化合物半導体からなる混晶層が積層された窒化物系半導体発光素子において、前記隣接層には穴状領域が点在していることを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項 14】 基板上に活性層およびこれに隣接する多重量子井戸隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する 3 元以上の III-V 族化合物半導体からなる混晶層を積層形成した窒化物系半導体発光素子の製造方法において、前記多重量子井戸隣接層は、井戸層の成長用の原料ガスと障壁層の成長用の原料ガスを交互に所定時間供給して井戸層および障壁層を交互に成長させるとともに、前記井戸層の成長と前記障壁層の成長との間に所定の待機時間を設けることを特徴とする窒化物系半導体発光素子の製造方法。

【請求項 15】 前記井戸層の成長用の原料ガスはトリメチルインジウム、トリメチルガリウムおよびアンモニアガスであり、前記障壁層の成長用の原料ガスはトリメチルガリウムおよびアンモニアガスであることを特徴とする請求項 14 記載の窒化物系半導体発光素子の製造方法。

【請求項 16】 基板上に活性層およびこれに隣接する多重量子井戸隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する 3 元以上の III-V 族化合物半導体からなる混晶層を積層形成した窒化物系半導体発光素子を有機金属を用いた気相成長により製造するに際し、前記気相成長の原料ガスとして、トリメチルインジウム、トリメチルガリウムおよびアンモニアガスを用い、成長温度を 700℃以上 850℃以下とし、かつ、すべての原料ガスとキャリアガス流量の総和を標準換算で一分間に 10 リットル以上 50 リットル以下とし、さらに V 族元素と III 族元素のモル流量比を 1000 以上 15000 以下で、前記活性層をエピタキシャル成長させることを特徴とする窒化物系半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はGaN、AlGa_N、InGa_N等の窒化物系の化合物半導体を用いた発光素子およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】窒化物系化合物半導体については、サファイヤ、SiC、スピネルなどの基板上に成長する六方晶型結晶が現在のところ、最も良好な結晶とされている。しかしサファイヤ基板、スピネル基板は導電性が低いので電極はp型、n型とも窒化物半導体表面に形成している。半導体レーザのような高電流注入では表面を電流が多く流れるいわゆるリーク電流が生じ、発光に寄与する電流が少ないため、発光効率が低く、半導体レーザの信頼性も低い。さらに、リーク電流を防いだり、半導体レーザを低電流動作させるために必要な電流密度を上げるための、電流狭窄構造を形成することが困難である。このため、従来は低動作電流で高電流注入においてもリーク電流がなく信頼性の高い半導体レーザ構造が得られていない。

【0003】また、従来の光ディスク記録の読み出し用光ヘッドとしての半導体レーザは、発振中の強度変化によるノイズが問題となっており、この対策として例えば自動発振型構造が用いられるが、超薄膜活性層構造では自動発振を得ることは難しい。このため、高周波重畳法やレーザ自体を二種類用いる方法などが採用されているが、いずれも構造は複雑である。また、活性層の膜厚を場所により変えて2種類のレーザを形成する方法も報告されているが、この方法では活性層の厚さの制御が極めて難しいという問題がある。また、読み出しと書き込みを行うヘッドでは出力の異なる2種類のレーザを用いることが一般的であるが、いずれもその構造は複雑である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように従来の窒化物系半導体レーザでは光ディスク記録の読み出し側光ヘッドとして実用可能な性能を満たした半導体レーザを安価に容易に作成することは困難であった。

【0005】したがって、本発明の目的は上記事情を考慮し、簡単な構造で自動発振を行うことが可能な窒化物系半導体発光素子およびその製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本願第1の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層が積層形成された窒化物系半導体発光素子において、前記隣接層には、この隣接層を構成する1つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域の前記1つの元素の濃度は、前記六方晶系の結晶のC軸に垂直な方向での組成の変化が2nm以内で

10パーセント以上異なり、また、前記島状領域の最大径が100nm以下であり、かつ前記島状領域の不純物濃度が周辺部の不純物濃度に比べて低いことを有する窒化物系半導体発光素子である。

【0007】本願第2の発明は、前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれていることを有する前記第1の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0008】本願第3の発明は、前記隣接層には穴状領域が点在していることを有する前記第1の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。本願第4の発明は、前記隣接層は多重量子井戸構造を有しており、前記島状領域を形成する前記1つの元素はインジウム、アルミニウムまたはガリウムのうちの少なくとも1つであることを有する前記第1の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0009】本願第5の発明は、前記活性層は多重量子井戸構造を有しており、この活性層には、この活性層を構成する1つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域は、この領域を囲む領域の材料のバンドギャップに比べて同じか、または、10meV以内の差で小さいバンドギャップを有する前記第1の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0010】本願第6の発明は、前記不純物はSi、C、Ge、Sn、Pbの内の少なくとも1つであることを有する前記第1乃至第6の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0011】本願第7の発明は、前記島状領域相互の間隔をd、その周辺部の屈折率をn、前記島状領域の発光波長をλとした時、 $\lambda m = 2nd$ (m=1、2、3、4)を満たすことを有する前記第5の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0012】本願第8の発明は、前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれており、かつ、前記隣接層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層に隣接し活性層側ではない層を形成する半導体によって埋め込まれていることを有する前記第5乃至7の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0013】本願第9の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層が積層された窒化物系半導体発光素子において、前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれていることを有する窒化物系半導体発光素子である。

【0014】本願第10の発明は、前記隣接層には穴状領域が点在していることを有する前記第9の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。本願第11の発明は、前記活性層は多重量子井戸構造を有しており、この

活性層には、この活性層を構成する1つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域は、この領域を囲む領域の材料のバンドギャップに比べて同じか、または、10 meV以内の差で小さいバンドギャップを有する前記第9の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0015】本願第12の発明は、前記活性層は多重量子井戸構造をなしており、少なくともその一部はInGa_xN_{1-x}からなることを有する第9の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0016】本願第13の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層が積層された窒化物系半導体発光素子において、前記隣接層には穴状領域が点在していることを有する窒化物系半導体発光素子である。

【0017】本願第14の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する多重量子井戸隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層を積層形成した窒化物系半導体発光素子の製造方法において、前記多重量子井戸隣接層は、井戸層の成長用の原料ガスと障壁層の成長用の原料ガスを交互に所定時間供給して井戸層および障壁層を交互に成長させるとともに、前記井戸層の成長と前記障壁層の成長との間に所定の待機時間を設けることを有する窒化物系半導体発光素子の製造方法である。

【0018】本願第15の発明は、前記井戸層の成長用の原料ガスはトリメチルインジウム、トリメチルガリウムおよびアンモニアガスであり、前記障壁層の成長用の原料ガスはトリメチルガリウムおよびアンモニアガスであることを有する第14の発明に記載の窒化物系半導体発光素子の製造方法である。

【0019】本願第16の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する多重量子井戸隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層を積層形成した窒化物系半導体発光素子を有機金属を用いた気相成長により製造するに際し、前記気相成長の原料ガスとして、トリメチルインジウム、トリメチルガリウムおよびアンモニアガスを用い、成長温度を700℃以上850℃以下とし、かつ、すべての原料ガスとキャリアガス流量の総和を標準換算で一分間に10リットル以上50リットル以下とし、さらにV族元素とIII族元素のモル流量比を1000以上15000以下で、前記活性層をエピタキシャル成長させることを有する窒化物系半導体発光素子の製造方法である。

【0020】要約すれば、本発明は、窒化物半導体発光素子の活性層または活性層に隣接する隣接層を可飽和吸収領域にすることにより自励発振を生じさせるようにしたものである。

【0021】したがって、本発明によれば、自励発振を

複雑な構造を用いずに発生することかでき、低ノイズの特性をもった光ディスク記録の読み出し用半導体レーザを形成できる。また、書き込み用を読み出し用と同じ構造で作製が可能で、書き込み読み出し両用ヘッダの構造を簡素化できる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を用いて詳細に説明する。図1は本発明の第1の実施形態に係わる窒化物系半導体レーザの概略構成を説明する断面図である。同図中で、100はサファイヤ基板、101はn型Ga_xN_{1-x}バッファ層（Siドープ、3~5×10¹⁸cm⁻³、0.1μm）であり、102はn型Ga_xN_{1-x}コンタクト層（Siドープ、3~5×10¹⁸cm⁻³、4μm）、103はn型Al_xGa_{1-x}Nクラッド層（Siドープ、5×10¹⁷cm⁻³、0.3μm）、104はn型In_{0.1}Ga_{0.9}N/Ga_xN_{1-x}多重量子井戸（multiple quantum well）隣接層（Siドープ、5×10¹⁷cm⁻³、井戸幅2nm、障壁幅4nm、ペア数3）、105はIn_{0.3}Ga_{0.7}N/Ga_xN_{1-x}多重量子井戸活性層（アンドープ、井戸幅2nm、障壁幅4nm、ペア数3）、106はp型Ga_xN_{1-x}隣接層（Mgドープ、5×10¹⁷cm⁻³、0.1μm）、107はp型Al_xGa_{1-x}Nクラッド層（Mgドープ、5×10¹⁷cm⁻³、0.3μm）、108はp型Ga_xN_{1-x}コンタクト層（Mgドープ、1~3×10¹⁸cm⁻³、0.5μm）、109はn型Ga_xN_{1-x}通電障壁層（Siドープ、1×10¹⁸cm⁻³、0.3μm）、110はp側電極、111はn側電極である。

【0023】図1に示した半導体レーザの製造方法は次のとおりである。始めに有機金属を用いた気相成長（Metal Organic Chemical Vapour Deposition: MOCVD）法により、サファイヤ基板100の上に、n型Ga_xN_{1-x}バッファ層101からn型Ga_xN_{1-x}層109まで成長する。その後、n型Ga_xN_{1-x}層109の上に一部フォトリソグラフィによりマスクを形成し、p型Al_xGa_{1-x}Nクラッド層107が露出するまでエッチングを行う。次に、p型Ga_xN_{1-x}コンタクト層108を成長する。その後n型Ga_xN_{1-x}コンタクト層102を形成するためにn型Ga_xN_{1-x}コンタクト層102を形成する部分をマスクで覆いエッチング除去する。マスクを除去しn側電極111、p側電極110を形成し、図1の構造の窒化物系半導体レーザが製造できる。

【0024】ここで、前記n型In_{0.1}Ga_{0.9}N/Ga_xN_{1-x}多重量子井戸隣接層104（Siドープ、井戸幅2nm、障壁幅4nm、ペア数3）は次のように成長させる。成長温度は760℃、In_{0.1}Ga_{0.9}N層の成長には、TMI（トリメチルインジウム）、TMG（トリメチルガリウム）、アンモニアガスおよびシランを用い、通常の厚膜成長で1μm/hの成長速度が得られる条件下で8秒間成長する。これによって幅2nmの井戸

層が形成される。ついで、1秒間の待機時間をおいてTMG（トリメチルガリウム）、アンモニアガスおよびシランを用い、同じ成長速度の条件下で18秒間成長させる。これによって幅4nmの障壁層が形成される。以下同じプロセスを3回繰り返し、井戸（well）層と障壁（barrier）層のペアを3組積層形成した。

【0025】このようにして成長した多重量子井戸隣接層104には、層の面内方向において、In組成が局所的に多い部分が形成されることが判明した。図2は、カソード・ルミネッセンス法による多重量子井戸隣接層104の井戸層の発光波長の面内分布を表す模式図である。すなわち、同図中においては、ハッチで示した領域において、周囲よりも波長の長い発光が観察された。一般に、カソード・ルミネッセンス法により得られる発光の波長は、ターゲットの組成に依存して変化する。ここでは、インジウムの含有量が多い程、その発光波長は長くなる。すなわち、多重量子井戸隣接層104は、その面内において、インジウムの組成が高い領域が島状に存在することが分かった。その分布状態と発光波長を詳細に調べた結果、多重量子井戸隣接層104の各井戸層には、直径約2nmで、インジウム組成約30%の島状の領域が多数形成されていることが分かった。この島状の領域は周辺に比べInが多く、活性層105からの発光波長に対応するバンドギャップとほぼ同じバンドギャップを有する。また、多重量子井戸層104には、前述したようにシリコン（Si）をドーピングしているが、図3に示したように、インジウム濃度が高い領域にはシリコンが含まれにくく、その結果として、インジウム濃度が高い部分のキャリア濃度は低い。

【0026】図4は多重量子井戸隣接層104におけるInGaN井戸層とGaN障壁層のペアのコンダクション・バンドの状態を示す模式図である。すなわち同図において、横方向は隣接層104の厚み方向の距離を示し、縦方向はエネルギー・レベルを示している。同図に示したように、GaN障壁層に高濃度にドナーが存在してエネルギー・バンドが大きく湾曲している。このようにエネルギー・バンドが湾曲することにより、この部分でのInGaN井戸層へのキャリアの閉じ込めは有効質量の小さい電子に対しては弱くなり、発光は生じない。また、活性層105が発光することにより、この隣接層104でのIn組成の多い部分での吸収が生じるが、その吸収は、微少な島状の領域で起こる。従って、隣接層104は可飽和吸収状態となり自励発振状態となる。このような自励発振状態は高出力の条件であっても持続した。また、この隣接層104に含まれる不純物を、n型不純物であるシリコン（Si）、炭素（C）、ゲルマニウム（Ge）、スズ（Sn）、鉛（Pb）のいずれかとした場合には、しきい値上昇等の悪影響はなかった。

【0027】本実施形態のレーザはしきい値20mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は

3.8Vであった。50mW時にS/Nは本構造を用いない従来の半導体レーザの20dBに比べ130dBと向上した。また、従来の活性層近傍に可飽和吸収層を設けた厚い活性層の自励発振型レーザでは高出力は困難であったが本実施形態では200mWまで安定した横モードで出力を出す事ができた。

【0028】次に、本発明者は、前述した製造方法により島状の吸収領域が形成された本発明の窒化物系レーザを多数個製造し、自励発振の生ずる割合を調べた。図5は、製造した窒化物系半導体レーザについて光出力を変化させて発光させた場合、自励発振を生じた窒化物系半導体発光素子の割合を示したグラフである。同図において、横軸は光出力を示し、縦軸は自励発振を起こした窒化物系半導体発光素子の割合を示す。図中の黒丸は本発明の窒化物系半導体発光素子を表す。また図中の白丸は、比較例であり、島状の吸収領域の代わりに、層状の吸収領域を形成した窒化物系半導体発光素子を示している。この比較例についてさらに詳しく説明すると、活性層からみてガイド層の外側に、層厚10nmのIn_{0.25}Ga_{0.75}N吸収層を設けた。

【0029】図4から、層状の吸収領域を設けた比較例では、自励発振を生ずる割合が低く、しかも安定していないのに対して、島状の吸収領域が形成された本発明の窒化物系半導体発光素子は低出力から高出力に亘って、自励発振を生ずる窒化物系半導体発光素子が得られる確率が安定して高いことが分かる。

【0030】図6は、本発明による半導体レーザを光ディスクのデータ読み出しに応用した状態を説明する模式図である。すなわち、同図においては、図示しない半導体レーザ素子からレーザ光150が放出され、レンズ152により集束されて光ディスク160に入射する。光ディスク160の表面には、同心円上にトラック162が設けられ、そのトラック162に沿ってピット164が形成されている。レンズ152により集束されたレーザ光は、このピット164の有無に応じて反射率が変化し、図示しない受光部において検出される。ここで、本発明による窒化物系半導体レーザから得られる波長が420nmのレーザ・ビームを用いた場合には、同図に示したようにレンズにより集束されて極めて細いビーム154Aを得ることができる。同図には、比較のために、従来の、DVDシステム（波長： $\lambda=650\text{nm}$ 、開口比： $NA=0.6$ ）のレーザ・ビーム154Bと、コンパクト・ディスクシステム（波長： $\lambda=780\text{nm}$ 、開口比： $NA=0.45$ ）のレーザ・ビーム154Cとを示した。これらの比較から明らかなように、本発明の窒化物系半導体レーザを用いた場合には、極めて集束されたレーザ・ビームを得ることができ、光ディスク160におけるトラック162の間隔と、ピット164の間隔をそれぞれ縮小することができる。その結果として、従来のDVDシステムと比較しても、記録容量を約3倍増

大することができる。

【0031】さらに、本発明の窒化物系半導体レーザによれば、同一の窒化物系半導体レーザにより、光記録媒体からの読み出し及び書き込みが可能になる。すなわち、本発明の半導体レーザは、容易に自励発振を生ずるために、データ読み出しを低いノイズで安定して行うことができ、さらに、高出力動作が可能であるために、データ書き込み動作も行うことができる。その結果として、データの読み出しと書き込みとを兼用できるピックアップ・ヘッドの構造を飛躍的に単純化できる。

【0032】なお、前述した例では、多重量子井戸隣接層104は3ペアの井戸層と障壁層のものをを用いたが、ペア数は層の厚さとInの組成により適宜決定することができる。また、障壁層はGaNに限定されず、InやAl等を含んだ材料でもよい。

【0033】次に、本発明の第2の実施形態について説明する。図7は本発明の第2の実施形態に係わる窒化物系半導体レーザの概略構成を説明する断面図である。同図において、200はp型SiC基板、201はp型AlNバッファ層(Mgドープ、 $3\sim 5\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$)、202はp型GaN層(Mgドープ、 $1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、 $4\mu\text{m}$)、203はp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nクラッド層(Mgドープ、 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.3\mu\text{m}$)、204はAl_{0.1}Ga_{0.9}N隣接層(アンドープ、 $0.1\mu\text{m}$)、205は多重量子井戸活性層In_{0.1}Ga_{0.9}N/Al_{0.1}Ga_{0.9}N(アンドープ、井戸幅1nm、障壁幅2nm、ペア数3)、206はAl_{0.1}Ga_{0.9}N隣接層(アンドープ、 $0.1\mu\text{m}$)、207はn型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nクラッド層(Siドープ、 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.3\mu\text{m}$)、208はp型GaN電流狭窄層(Mgドープ、 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$)、209はn型GaNコンタクト層(Siドープ、 $1\sim 3\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$)、210はn側電極、211はp側電極である。

【0034】この窒化物系半導体レーザの製造方法は次のとおりである。始めにMOCVD法によりp型GaN電流狭窄層208まで成長しその後、p型GaN電流狭窄層208の上に一部フォトリソグラフィによりマスク(図示せず)を形成し、n型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nクラッド層207が露出するまでエッチングを行う。次に、p型GaNコンタクト層209を成長する。両面に電極を形成し、その後劈開により共振器の端面(facet)を形成する。

【0035】本実施形態においては、In_{0.1}Ga_{0.9}N/Al_{0.1}Ga_{0.9}N多重量子井戸活性層205も、前述した実施形態の多重量子井戸隣接層104と同様なプロセスにより製造する。具体的には、InGaNの成長にはTMG、TMIおよびアンモニアガスを用い、AlGaN層の成長には、TMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアガスを用い、成長温度860

℃、原料のV/III比が約170、各層での成長中断時間を1秒として、3回繰り返して成長させる。この結果、井戸厚2nm、障壁厚4nm、ペア数3の多重量子井戸層を形成できる。

【0036】このようなプロセスにより、多重量子井戸活性層205の井戸層部分にもインジウム(In)組成が局所的に多い領域が形成される。具体的には、各井戸層において、直径2nm、In組成約20%の島状の領域が面内に分布して多数形成される。この領域は周辺に比べInが多いことにより、格子定数がずれて、歪みがかかる。その結果として、Inの含有量は多いがバンドギャップは周辺の領域と10meV以下の違いしかない。この半導体レーザに電流を注入すると、In組成が高いこの島状の領域ではドーパントのSiが少なく導電性が低いため発光が効率的に行われる。

【0037】図8は、この活性層205を透過型電子顕微鏡(transmission electron microscope)により観察した結果を表す模式図である。すなわち、活性層205においては、In濃度が周辺より高濃度となっている島状の領域が面内方向に規則正しく並んでいる。このインジウム高濃度組成領域の直径は、概ね70nmであり、その間隔は概ね200nmであった。また、本発明者の実験の結果、成長条件を変える事によってこの島状領域の間隔をコントロールできる事が判明した。

【0038】この島状領域相互の間隔をd、この島状領域の周辺部の屈折率をnとした場合、高濃度領域の発光波長がλであれば $d=\lambda m/2n$ ($m=1, 2, 3, 4$)の場合がもっとも自励発振を安定して生ずる事ができた。なお、mが4を超える場合には自励発振の安定性が低下した。これは通常、多数ある発振モードが選択されることによると考えられる。

【0039】本実施形態によれば、分布帰還型レーザのような複雑な構造を用いなくても、自励発振を行うことができるとともに、モードホッピングの抑制を行うことができ、低ノイズ化が実現できることが分かった。

【0040】図9は発光波長400~430nmのそれぞれにおける最適成長条件を表すグラフである。すなわち、同図の横軸は成長温度(℃)で、縦軸はInの含有割合(%)を示し、それぞれの発光波長において、固層中のInの含有割合と、成長温度の最適条件を示す。

【0041】活性層内に形成される島状のインジウム高濃度領域においてはドナーが少ない。従って、島状の領域は発光効率が高く、さらに、量子的な閉じ込め効果により発光効率の高い励起子分子(双極子)の安定的な存在を促進する。これにより高In濃度の島状領域は体積的には微小であるが、レーザ発振するに十分な反転分布を形成することが可能である。一方、Inが高濃度の領域の周辺の低In領域においては、バンドギャップは島状領域よりも大きいもののドナーが存在するためにその

準位による吸収により可飽和吸収層として働き自励発振状態となる。この状態は高出力時であっても持続した。

【0042】活性層にドーブする不純物については、n型となるSi、C、Ge、Sn、Pb以外ではしきい値が上昇して実用的ではなかった。一方、Siの場合には、特に高い発光効率が得られた。

【0043】本構造の半導体レーザではしきい値10mAで発振波長は375nmが得られ、基本横モード発振し、5000時間までの安定動作も確認した。本実施形態では基板としてSiCを用いたが導電性の基板であれば良く、ZnO基板の場合にはさらに優れた電流電圧特性が得られた。また、電流狭窄層208は活性層205に対して基板200の側に設けても良く、また、活性層205の両側に設けても良い。また、電流狭窄層の材料は、コンタクト層に比べ屈折率の高い材料でもよい。

【0044】次に、本発明の第3の実施形態を説明する。図10は本発明の第3の実施形態を示す窒化物系半導体レーザの断面図である。同図において、300はサファイヤ基板、301はGa_{0.2}Nバッファ層(0.01μm)であり、302はp型Ga_{0.8}Nコンタクト層(Mgドーブ、3~5×10¹⁸cm⁻³、1μm)、303はp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層(Mgドーブ、5×10¹⁷cm⁻³、0.3μm)、304はp型Ga_{0.8}N隣接層(Mgドーブ、5×10¹⁷cm⁻³、0.1μm)、305はIn_{0.3}Ga_{0.7}N/Ga_{0.8}N多重量子井戸活性層(アンドープ、井戸幅2nm、障壁幅4nm、ペア数3)、306はn型Ga_{0.8}N隣接層(Siドーブ、5×10¹⁷cm⁻³、0.1μm)、307はn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層(Siドーブ、5×10¹⁷cm⁻³、0.3μm)、308はp型Ga_{0.8}N通電障壁層(Mgドーブ、1×10¹⁸cm⁻³、0.3μm)、309はn型Ga_{0.8}Nコンタクト層(Siドーブ、1~3×10¹⁸cm⁻³、0.5μm)、310はn側電極、311はp側電極である。

【0045】以下にその製造方法の概略を述べる。結晶成長はMOCVD法によって行った。始めに、サファイヤ基板300にMOCVD法によりGa_{0.2}Nバッファ層301を成長させるが、サファイヤ基板300は図11(a)、(b)に示されるように、スリット状の切れ目320が入っているものを用いた。ここで、切れ目320の開口は、例えば、約250μm×30μm、切れ目同士の間隔は約250μm程度とすることができる。

【0046】本実施形態においては、まず、サファイヤ基板300上に横方向の成長速度が速くなる条件でGa_{0.2}Nバッファ層301の成長を行う。すなわち、結晶成長時に、Ga_{0.2}Nの供給速度に対して成長温度を十分に高くすることにより、基板表面でのGa_{0.2}N原子の移動が高まる。このような条件でバッファ層301を成長することによって、サファイヤ基板300の切れ目320の部分はGa_{0.2}Nバッファ層301で塞がれる状態とな

る。

【0047】その後、通常の成長状態で順次p型Ga_{0.8}Nコンタクト層302からp型Ga_{0.8}N通電障壁層308まで成長を行う。p型Ga_{0.8}N通電障壁層308まで成長した後、フォトリソグラフィによりp型Ga_{0.8}N通電障壁層308の上に部分的にマスク(図示せず)を形成し、

n型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層307が露出するまでエッチングを行う。次にマスクを除去し、n型Ga_{0.8}Nコンタクト層309を成長する。コンタクト層309の上にNiとAuを蒸着してn側電極310を形成する。また、基板300下面側よりGa_{0.2}Nバッファ層301をエッチングにより除去し、Pt、Ti、Auを順次蒸着してp側電極311を形成する。これをレーザ素子とするため劈開により端面(図示せず)を形成し、ダイシングにより半導体発光素子を分離して図10の半導体レーザを得る。端面には図示しないが誘電体多層膜による高反射コートを施してある。

【0048】次に、本実施形態における上記In_{0.2}Ga_{0.8}N/Ga_{0.8}N多重量子井戸活性層305の具体的な成長条件を説明する。成長温度は740℃で、InGa_{0.8}N層はTMG、TMIおよびアンモニアガスを用い、Ga_{0.8}N層はTMGおよびアンモニアガスを用いる。InGa_{0.8}N井戸層は成長速度がIn_{0.2}Ga_{0.8}Nの厚膜成長で1μm/hの得られる成長条件で7秒、Ga_{0.8}N障壁層はTMIを止めて20秒の成長を行う。また、InGa_{0.8}N井戸層とGa_{0.8}N障壁層の成長の間には1.5秒の待機時間を設ける。厚膜と量子井戸のような薄膜とでは成長条件が同じでも成長速度が異なるが、これは成長の初期過程で成長速度が異なるためである。このような成長を行うことにより、In_{0.2}Ga_{0.8}N/Ga_{0.8}N多重量子井戸活性層305内にはIn組成が局所的に多い部分が井戸層部分に形成される。具体的には各井戸層に直径2nm、In組成約30%の領域が多数形成される。この領域は周辺に比べInが多いことにより歪みがかかり、これによりInが多いがバンドギャップは周辺の領域と10meV以下の違いしかない。この窒化物系半導体レーザに電流注入を行った場合、In組成が高いこの領域ではドーパントのSiが少なく導電性が低くキャリアの注入は主にその周辺に行われる。

【0049】図12は、活性層305の透過型電子顕微鏡による観察の結果を表す模式図である。すなわち、電子顕微鏡により格子像を観察した結果、活性層305においては、数nmの径の島状領域が点在することが観察された。特性X線スペクトル分析法を用いてこの島状の領域の組成を調べた結果、周囲よりもIn濃度が高いことが確認された。さらに、カソードルミネッセンス法により観察した結果、この島状領域に対応して規則正しく並んだ発光点が観測できた。

【0050】このような島状の領域が形成される原因は、Ga_{0.8}Nの上にGa_{0.8}Nと格子整合しないInGa_{0.8}Nを

成長するために、島状の成長が起こるからであると考えられる。ここで、本発明者は、種々の成長条件で形成した島状領域の直径と、半導体レーザの外部量子効率との関係について調べた。

【0051】図13は、島状領域の大きさと外部量子効率との関係を表すグラフである。すなわち、同図において、縦軸は外部量子効率を表し、横軸は島状領域の平均径を表す。同図から分かるように、島状領域の直径が小さくなるほど、外部量子効率が増加する傾向が得られた。特に高い外部量子効率を得るためには、島状領域の直径は100nm以下であることが望ましい。島状領域の径がこれ以上大きくなると、図13に示すように発光効率が著しく低下することが分かった。

【0052】次に、本発明者は、島状領域とその周辺部のインジウム濃度の2次元的な分布を詳細に調べた結果、直径が100nm以下の島状領域が存在するためには、島状領域の端部において、2nmごとに10%以上の割合でインジウム濃度が必要であることが分かった。つまり、島状領域の端部において、これ以上の急峻なインジウム濃度の増加がある場合には、直径100nm以下の島状領域が存在し得ることが分かった。

【0053】活性層内の高In組成部はドナーが少ないのでIn組成の高い部分は発光効率が良い。また、量子的な閉じ込め効果により発光効率の良い励起子分子の安定的な存在を促す。これにより島状の高In領域は、体積的には微小であるが発振するに十分な反転分布を形成することが可能である。そして島状高濃度領域の周辺の低In領域は、バンドギャップは島状高濃度領域より大きいものの、ドナーが存在するためにその準位による吸収により可飽和吸収層として働き自励発振状態となる。この状態は高出力時であっても持続した。

【0054】活性層にドーピングする不純物としては、n型となるSi、C、Ge、Sn、Pb以外ではしきい値が上昇し実用的ではなかった。この実施形態では活性層の下に、横方向に成長させたGa_{0.3}Nバッファ層301が設けられているので極端に転位や欠陥が少ない。その結果として、リーク電流が抑制され、半導体発光素子の破壊も起こりにくかった。

【0055】また本実施形態の半導体レーザはしきい値20mAで室温連続発振し、発振波長は420nm、動作電圧は3.8Vであった。また、自励発振を行う事により50mW動作時のS/Nは、本構造を用いない従来の半導体レーザの20dBに比べ130dBと顕著に向上した。また、活性層に量子井戸構造を採用しているため自励発振で200mW、自励発振を維持しない場合は300mWの高出力を得る事ができた。また、半導体発光素子の寿命はライフテストにおける劣化傾向から10万時間以上と予想され、低ノイズ、高出力、高信頼性を実現できた。

【0056】本実施形態では基板としてサファイヤ基板

を用いているが石英ガラス、ダイヤモンド、BNなどでも良い。さらに成長方法としてMBE (Molecular Beam Epitaxy) 法を用いると、パイレックスガラスやZnO等も基板として用いる事ができる。

【0057】次に、本発明の第4の実施形態について説明する。第14図は本発明の第4の実施形態に係わる窒化物系半導体発光ダイオード(LED)の概略構成を説明するためのものである。同図において、400はサファイヤ基板、401はGa_{0.3}Nバッファ層(3~5×10¹⁸cm⁻³, 4μm)、402はn型Ga_{0.3}Nコンタクト層(Siドーピング, 1×10¹⁸cm⁻³, 2μm)、403はn型Ga_{0.3}N層(Siドーピング, 5×10¹⁷cm⁻³, 0.1μm)、404はIn_{0.3}Ga_{0.7}N/Ga_{0.3}N 3MQW活性層(Siドーピング, 井戸層2nm, 障壁層4nm)、405はp型Ga_{0.3}N層(Mgドーピング, 5×10¹⁷cm⁻³, 0.1μm)、406はGa_{0.3}Nコンタクト層(Mgドーピング, 3×10¹⁸cm⁻³, 0.05μm)、410はp側電極、411はn側電極、412はITO (Indium Tin Oxide) 透明電極である。

【0058】同図の各半導体層はMOCVD法により成長した。活性層404の成長時にはそれぞれのIn_{0.3}Ga_{0.7}N井戸層の成長後に成長中断時間を1秒から3秒設けてIn濃度が高い島状領域を作成した。活性層以外の成長は通常の成長方法で行った。成長後p電極となる部分をマスキングしn型Ga_{0.3}Nコンタクト層402が露出するまでドライエッチングしてメサ形状を形成する。マスクを除去し、メサの側面などリーク電流が流れやすい部分にはSiO₂を付けた。メサ形状の上面には全面透明電極を形成しさらに一部分でn側電極411に遠い部分にp側電極410を形成し、n側電極411を形成した、半導体発光素子構造とした。作成後に発光素子を分解し活性層部分を透過電子顕微鏡で観察したところ井戸層部分にInが周りより高い領域が観察され、その領域はほぼ4nmの直径であった。また、特性X線により調べたところ、この高濃度領域は周りのIn濃度が低い領域に比べIn濃度が10%程度多く含まれていることがわかった。素子の動作電圧は2.7Vで光出力は10mAで10mWであった。また、100mAでは50mWであった。発光効率も良く外部量子効率は30%に達した。このような高効率で発光強度が強い素子が実現できたのは、活性層にあるIn濃度が高い領域に注入されたキャリアが、その高In濃度領域に閉じ込められて非発光再結合をすることなく再結合したためである。本実施形態では光源として青色のみを用いているが、活性層中のIn量を増量することにより赤色光に近い波長まで発光可能となり、フィルタなどを用いれば、赤、緑、青の三原色ができ、Ga_{0.3}N系のフルカラー発光素子を実現することもできる。

【0059】次に、本発明の第5の実施形態について説明する。図15は本発明の第5の実施形態に係わる窒化物系半導体発光素子の概略構成を説明するためのものである。同図に示した発光素子においては、サファイア基板500の上に、バッファ層501、n型Ga_{0.5}Nコンタクト層(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $4 \mu\text{m}$)502、n型AlGa_{0.5}Nクラッド層(Siドープ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$)503、ノンドープGa_{0.5}N隣接層($0.1 \mu\text{m}$)504、InGa_{0.5}N多重量子井戸(MQW)活性層505、ノンドープGa_{0.5}N隣接層($0.1 \mu\text{m}$)506、p型AlGa_{0.5}Nクラッド層(Mgドープ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$)507、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層(Mgドープ、 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $0.5 \mu\text{m}$)508、SiO₂(二酸化珪素)膜509が順次積層されている。また、510はp側電極、511はn側電極である。

【0060】製造方法は次の通りである。MOCVD法で基板500の上にバッファ層501を成長し、次に成長温度1100℃でTMG(トリメチルガリウム)、TMA(トリメチルアルミニウム)、アンモニア、水素、窒素を用いて、n型Ga_{0.5}Nコンタクト層502、n型AlGa_{0.5}Nクラッド層503、ノンドープGa_{0.5}N隣接層504を順次積層する。

【0061】次に、III族の原料ガスの供給を停止し、基板温度を760℃に降温する。この温度で、TMGを-15℃に保ち、水素ガスをキャリアガスとして10cc/分、アンモニアを20℃で10L/分、窒素を19.7L/分流し、これに加えてTMI(トリメチルインジウム)を37℃で窒素をキャリアガスとして500cc/分と15cc/分との組み合わせで約1.5分ずつ20回繰り返し切り替えて供給し、InGa_{0.5}N多重量子井戸活性層505の成長を行う。

【0062】この後、TMGとTMIの供給を止めるこ

とで成長を停止し、水素を40cc/分、窒素を19.96L/分、アンモニアを10L/分の流量で流しながら、1100℃まで4分間かけて昇温する。ついで温度を1100℃で保持し、水素を500cc/分、窒素を14.5L/分、TMGを100cc/分、アンモニアを10L/分の流量供給してノンドープGa_{0.5}N隣接層506を積層する。この後これにCp₂Mg(ビスシクロペンタジエニルマグネシウム)とTMAを加えてp型AlGa_{0.5}Nクラッド層507を形成し、次にTMAの供給を止めてp型Ga_{0.5}Nコンタクト層508を積層する。この後、SiO₂膜509の堆積、フォトリソグラフィ、エッチング、p側電極510、n側電極511の蒸着、アロイ等の行程を経て図15に示す窒化物系半導体発光素子が完成する。

【0063】なお、前述の工程においては、隣接層504を成長した後に成長温度を760℃まで高温したが、この温度は、700℃以上850℃以下であることが望ましい。以下に、この理由を説明する。

【0064】本発明者は、InGa_{0.5}Nの成長条件を調べるために、まず、原料ガスとキャリアガスの流量の総和を1分あたり30リットルにし、V族元素とIII族元素のガスの流量比を8400にし、様々な成長温度でInGa_{0.5}Nの成長を行った。これをフォトルミネッセンス(Photo Luminescence: PL)で評価したところ、表1に示すように700℃以上850℃以下の範囲において、十分な強度のPL発光が観測できた。成長温度が700℃を下回ると、成長が不十分となり、PL発光強度が上がらない。成長温度が850℃を上回ると、結晶がダメージを受けるため、PL発光強度が極端に低減した。

【0065】

【表1】

成長温度(℃)	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900
PL発光強度 (任意目盛)	0.5	0.5	0.7	1.3	6.7	8.6	9.5	9.5	8.3	7	6.5	0.9	0.3

【0066】次に、本発明者は、成長温度を760℃に固定し、原料ガスとキャリアガスの流量の総和を1分あたり30リットルにし、V族元素とIII族元素のモル流量比依存性を調べた。その結果、表2の様にV族元素とIII族元素のモル流量比が1000以上15000以下では十分な強度のPL発光が見られた。V族元素とIII族元素のモル流量比が1000を下回ると、十分に反応

しないため、PL発光強度が上がらない。V族元素とIII族元素のモル流量比が15000を上回ると、本来III族元素が反応すべき結晶格子にもV族元素が割り込んで反応してしまい、III族元素が十分に反応できないため、PL発光強度が極端に低減した。

【0067】

【表2】

V/III比	700	1000	3000	5000	8400	11500	13000	15000	17000
PL発光強度 (任意目盛)	0.3	6.7	7.5	9.2	10	9.7	8.5	7.3	0.5

【0068】さらに、成長温度を760℃に固定し、V族元素とIII族元素の流量比を8400にし、すべての原料ガスとキャリアガスの1分間あたりの総流量に対する依存性を調べたところ、表3の様に1分間あたりの総流量が10リットル以上、50リットル以下では十分な強度のPL発光が見られた。1分間あたりの総流量が1

0リットルを下回ると、十分に反応しないため、PL発光強度が上がらない。1分間あたりの総流量が50リットルを上回ると、流速が早くなり、十分な反応時間がとれないため、PL発光強度が極端に低減した。

【0069】

【表3】

総流量 (1/分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
PL発光強度 (任意目盛)	0.2	5.7	6.3	7.5	9.2	10	9.5	8.2	7.3	5.3	0.2

【0070】本実施形態では、InGa_N多重量子井戸活性層505およびノンドープGa_N隣接層506ともに意図的にはドーピングを施していない。本発明者の実験によれば、上記のように成長した場合、Ga_N層の方がInGa_N層よりも高抵抗であることがわかっている。また、上記のように成長したものの断面をTEM（透過電子顕微鏡）で観察したところ、InGa_N多重量子井戸活性層505に穴状領域（ピット）が存在し、このピットがノンドープGa_N隣接層506によって埋め込まれ、平坦化されていることがわかった。従って前記の実施形態の半導体発光素子によれば、以下に述べる原理により自励発振が生じる。

【0071】すなわち、活性層に穴状領域が存在することにより、活性層内を流れる電流に分布ができ、低電流密度領域が可飽和吸収領域となるので、自励発振が生じる。このことについて以下に詳述する。

【0072】図16は、本実施形態の発光素子における注入電流の流れを示す断面模式図である。同図においては、分かり易くするために、図16に示した発光素子の構造を簡略化した構造を例示して説明する。図16に示したように、ノンドープGa_N層553とノンドープInGa_N層554のヘテロ接合があり、しかもノンドープInGa_N層554側の界面には穴（ピット）Pがある。両者にはそれぞれp型コンタクト層552、n型コンタクト層555を介してp側電極551、n側電極556が接続されている。

【0073】いま、両電極に順方向に電圧をかけたとすると、ノンドープGa_N層553の方がノンドープInGa_N層554に比べてバンドギャップが大きいために、電流は図16中の矢印で示すように流れ、InGa_N層554のうちの穴状領域の下の部分の電流密度は他の領域の電流密度に比べて、疎になる。

【0074】本発明者は、この現象を実証するために二次元のシミュレーションを実行し、電流の分布を調べた。図17にシミュレーションで用いた層構造を示す。層構造はレーザ構造を模したものであり、5×10¹⁸cm⁻³にドーピングされた厚さ0.1μmのn型Ga_Nコンタクト層561、5×10¹⁷cm⁻³にドーピングされた厚さ0.3μmのn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層562、厚さ0.1μmのノンドープGa_N隣接層563、

厚さ0.1μmのノンドープIn_{0.08}Ga_{0.92}N活性層564、厚さ0.1μmのノンドープGa_N隣接層565、5×10¹⁷cm⁻³にドーピングされた厚さ0.3μmのp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層566、5×10¹⁸cm⁻³にドーピングされた厚さ0.1μmのp型Ga_Nコンタクト層567からなる。ノンドープIn_{0.08}Ga_{0.92}N活性層564のノンドープGa_N隣接層563に接する界面には幅0.1μm、深さ0.05μmの穴状領域（ピット）Pが1μmの間隔を置いて並んでいる。実際のピットの形状はこのような矩形では必ずしもないが、計算の簡便化のためにこのような形状でシミュレーションを行った。形状の違いがシミュレーション結果に本質的な影響を及ぼさないことは言うまでもない。

【0075】このような構造に4Vの電圧を印加した時の穴状領域（ピット）の直下での電流密度の分布を図18に示す。ピットの部分で電流密度が30%以上も低減している。このように電流の疎密が穴状領域の存在によってもたらされることが明らかとなった。そして、このような電流分布が生じることになり、レーザ発振が生じる際には、まず、電流が密な部分で発振が始まり、電流が疎の部分で可飽和吸収体となることになる。尚、隣接層がノンドープでなく、5×10¹⁷cm⁻³にドーピングされている場合についても同様の結果であった。このように、穴状領域が存在することで、電流の疎密が発生することになる。そして、電流が疎の部分は可飽和吸収体となり、自励発振が実現できる。

【0076】次に、本発明の第6の実施の形態について説明する。図19は本発明の第6の実施形態に係わる窒化物系半導体発光ダイオードの概略構成を説明するためのものである。すなわち、同図の発光ダイオードにおいては、サファイヤ基板600上に、バッファ層601、n型Ga_Nクラッド層（Siドーピング、3~5×10¹⁸cm⁻³、4μm）602、ノンドープInGa_N活性層（0.2μm）603、p型Ga_Nクラッド層（Mgドーピング、5×10¹⁷cm⁻³、0.3μm）604、p型Ga_Nコンタクト層（Mgドーピング、5×10¹⁸cm⁻³、0.5μm）605が順次積層されている。また、610はp型透明電極、611はn型電極である。

【0077】このようにして本発明の第6の実施形態に係わる窒化物系半導体発光ダイオードを作成すると、ノ

ンドープ InGaIn 活性層 603 の p 型 GaIn クラッド層 604 側の界面に穴状領域（ピット）が形成される。このようにピットが形成されることで凹凸が生じることになる。凸の部分 603A は周囲を GaIn に囲まれた InGaIn 層である。このように周囲をバンドギャップの大きい材料で囲まれた領域には励起子が局在することになり、発光効率が增大する。すなわち、このようにして本発明を用いることにより発光効率の高い発光ダイオードを得ることができる。

【0078】次に、本発明の第 7 の実施の形態について説明する。図 20 は本発明の第 7 の実施の形態に係わる窒化物系半導体発光素子の概略構成を説明するためのものである。同図において、700 はサファイア基板、701 はバッファ層、702 は n 型 GaIn コンタクト層（Si ドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $4 \mu\text{m}$ ）、703 は n 型 AlGaIn クラッド層（Si ドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$ ）、704 は n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N} / \text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 多重量子井戸隣接層（Si ドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、井戸幅 2 nm 、障壁幅 4 nm 、20 層）、705 は $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N} / \text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 多重量子井戸活性層（ノンドープ、井戸幅 2 nm 、障壁幅 4 nm 、10 層）、706 は p 型 GaIn 隣接層（Mg ドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1 \mu\text{m}$ ）、707 は p 型 AlGaIn クラッド層（Mg ドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$ ）、708 は p 型 GaIn コンタクト層（Mg ドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.5 \mu\text{m}$ ）、709 は SiO_2 膜、710 は p 側電極、711 は n 側電極である。

【0079】n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N} / \text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 多重量子井戸隣接層 704 は次のように成長させる。成長温度は 760°C で、 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 井戸層の成長には TMI、TMG、アンモニア、 SiH_4 を用い、厚さが 2 nm の井戸層を成長する。次に、1 秒間、アンモニアだけを供給した状態で待機したのち、TMI、TMG、アンモニア、 SiH_4 を用いて厚さが 4 nm の $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 障壁層を成長する。つぎに再度 1 秒間の待機時間において井戸層を同様に成長する。このようなプロセスを合計 20 回繰り返すことで n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N} / \text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 多重量子井戸隣接層 704 が形成できる。

【0080】また、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N} / \text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 多重量子井戸活性層 705 の成長方法は次の通りである。 760°C の成長温度で、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ を 2 nm 成長し、1 秒間の待機時間を設けて $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ を成長する。このサイクルを合計 10 回繰り返す。

【0081】このような成長方法によって n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N} / \text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 多重量子井戸隣接層 704 と $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N} / \text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 多重量子井戸活性層 705 共に、島状領域を有し、かつ、ピッ

トを有する構造を形成することが可能となる。

【0082】以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明はこれらの具体例に限定されるものではない。例えば、前述した第 1 から第 7 の実施の形態では活性層はノンドープ層であるが、n 型あるいは p 型にドープされていても良い。またこれに隣接する層はドーピングされていなくても、あるいは n 型や p 型にドーピングされていても良い。その他、本発明はその要旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施できる。

【0083】

【発明の効果】以上詳述したように本発明の窒化物系半導体レーザによれば、複雑な構造を用いずに、自励発振を生じる窒化物系半導体発光素子が高い確率で得られる。これによって、低ノイズの特性をもった光ディスク記録の読み出し用半導体レーザとして実用可能な性能を満たした半導体レーザを安価に容易に作成でき、その有用性は絶大である。さらに、同じ構造の窒化物系半導体レーザにより記録媒体からの読み出しおよび書き込みが可能になり読み出し書き込み兼用ヘッドの構造を飛躍的に単純化できた。一方、本発明の窒化物系半導体発光ダイオードによれば、発光効率の高い窒化物系発光ダイオードが得られた。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の窒化物系半導体発光素子の第 1 の実施形態を示す断面図である。

【図 2】図 1 に示す多重量子井戸隣接層 104 の面内発光分布を表す模式図である。

【図 3】図 1 に示す多重量子井戸隣接層 104 における In 組成比とドナー濃度の関係を示すグラフである。

【図 4】図 1 に示す多重量子井戸隣接層 104 におけるバンド構造を示す模式図である。

【図 5】図 1 に示す窒化物系半導体発光素子の光出力に対する自励発振生起割合を示すグラフである。

【図 6】半導体レーザを光ディスクの読み出しに応用した状態を説明する模式図である。

【図 7】本発明の窒化物系半導体発光素子の第 2 の実施形態を示す断面図である。

【図 8】図 7 に示す活性層 205 を透過型電子顕微鏡により観察した結果を表す模式図である。

【図 9】図 7 に示す窒化物系半導体発光素子の製造条件を示すグラフである。

【図 10】本発明の窒化物系半導体発光素子の第 3 の実施形態を示す断面図である。

【図 11】図 10 に示す窒化物系半導体発光素子に用いる基板の構造を示す概略図で、(a) は平面図、(b) は側面図である。

【図 12】図 10 に示す活性層 305 の透過型電子顕微鏡による観察の結果を表す模式図である。

【図 13】図 10 に示す活性層 305 における島状領域

の平均径と半導体発光素子の外部量子効率の関係を示すグラフである。

【図14】本発明の窒化物系半導体発光素子の第4の実施形態を示す断面図である。

【図15】本発明の窒化物系半導体発光素子の第5の実施形態を示す断面図である。

【図16】隣接層が活性層よりもバンドギャップが大きい場合の電流経路を示す概略図である。

【図17】2次元のシュミレーションで用いた層構造を示す概略図である。

【図18】図17に示した素子に対する2次元のシュミレーションにおいて4Vの電圧を印加した時の穴状領域の直下での電流密度の分布図である。

【図19】本発明の窒化物系半導体発光素子の第6の実施形態を示す断面図である。

【図20】本発明の窒化物系半導体発光素子の第7の実施形態を示す断面図である。

【符号の説明】

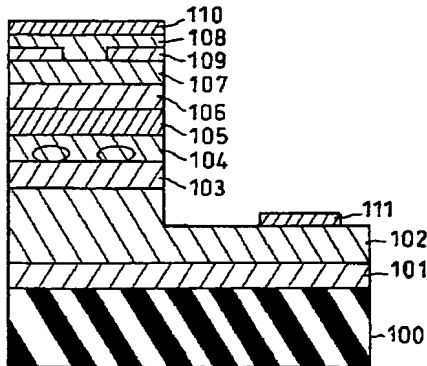
100 サファイヤ基板、
101 n型Ga_{0.9}Nバッファ層
102 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
103 n型AlGa_{0.1}Nクラッド層
104 n型In_{0.1}Ga_{0.9}N/Ga_{0.9}N多重量子井戸活性層
105 In_{0.3}Ga_{0.7}N/Ga_{0.7}N多重量子井戸活性層
106 p型Ga_{0.9}N隣接層
107 p型AlGa_{0.1}Nクラッド層
108 p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
109 n型Ga_{0.9}N通電障壁層
110 p側電極
111 n側電極
150 レーザ光
152 レンズ
154A 本発明による窒化物系半導体レーザ・ビーム
154B 従来のDVDシステムのレーザ・ビーム
154C コンパクト・ディスクシステムのレーザ・ビーム
160 光ディスク
162 トラック
164 ビット
200 p型SiC基板
201 p型AlNバッファ層
202 p型Ga_{0.9}N層
203 p型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nクラッド層
204 Al_{0.1}Ga_{0.9}N隣接層
205 In_{0.1}Ga_{0.9}N/Al_{0.1}Ga_{0.9}N多重量子井戸活性層
206 Al_{0.1}Ga_{0.9}N隣接層
207 n型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nクラッド層

208 p型Ga_{0.9}N電流狭窄層
209 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
210 n側電極
211 p側電極
300 サファイヤ基板
301 Ga_{0.9}Nバッファ層
302 p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
303 p型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層
304 p型Ga_{0.9}N隣接層
305 In_{0.3}Ga_{0.7}N/Ga_{0.7}N多重量子井戸活性層
306 n型Ga_{0.9}N隣接層
307 n型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nクラッド層
308 p型Ga_{0.9}N通電障壁層
309 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
310 n側電極
311 p側電極
400 サファイヤ基板
401 Ga_{0.9}Nバッファ層
402 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
403 n型Ga_{0.9}N層
404 In_{0.3}Ga_{0.7}N/Ga_{0.7}N 3MQW活性層
405 p型Ga_{0.9}N層
406 p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
410 p側電極
411 n側電極
412 ITO透明電極
500 サファイヤ基板
501 バッファ層
502 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
503 n型AlGa_{0.1}Nクラッド層
504 ノンドープGa_{0.9}N隣接層
505 InGa_{0.1}NMQW活性層
506 ノンドープGa_{0.9}N隣接層
507 p型AlGa_{0.1}Nクラッド層
508 p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
509 SiO₂膜
510 p側電極
511 n側電極
551 p側電極
552 p型コンタクト層
553 ノンドープGa_{0.9}N層
554 ノンドープInGa_{0.1}N層
555 n型コンタクト層
556 n側電極
P ビット
561 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
562 n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
563 ノンドープGa_{0.9}N隣接層
564 ノンドープIn_{0.08}Ga_{0.92}N活性層

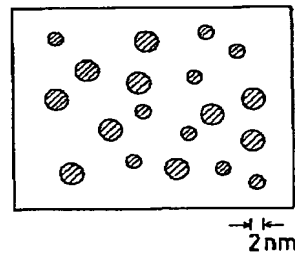
565 ノンドープGa_{0.15}N_{0.85}クラッド層
 566 p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 567 p型Ga_{0.15}Nクラッド層
 600 サファイヤ基板
 601 バッファ層
 602 n型Ga_{0.15}Nクラッド層
 603 ノンドープInGa_{0.15}N活性層
 604 p型Ga_{0.15}Nクラッド層
 605 p型Ga_{0.15}Nクラッド層
 610 p型透明電極
 611 n型電極
 700 サファイヤ基板
 701 バッファ層

702 n型Ga_{0.15}Nクラッド層
 703 n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 704 n型In_{0.15}Ga_{0.85}N/I_{0.02}Ga_{0.98}N多重量子井戸活性層
 705 In_{0.2}Ga_{0.8}N/I_{0.05}Ga_{0.95}N多重量子井戸活性層
 706 p型Ga_{0.15}Nクラッド層
 707 p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 708 p型Ga_{0.15}Nクラッド層
 709 SiO₂膜
 710 p側電極
 711 n側電極

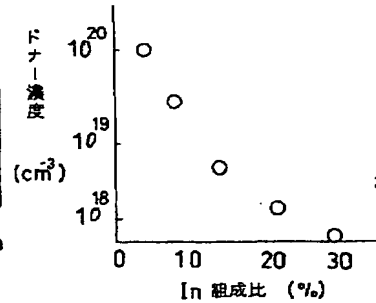
【図1】



【図2】

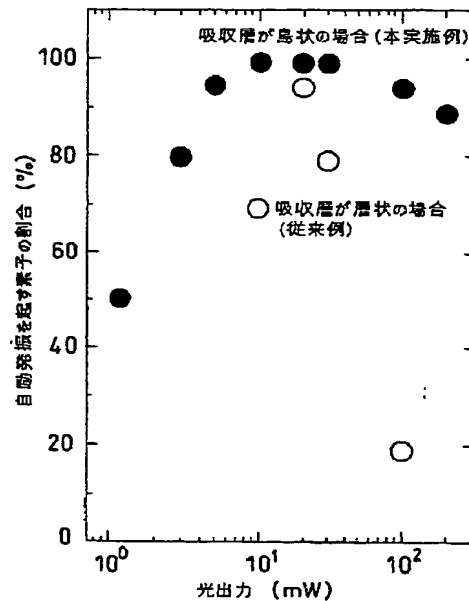


【図3】

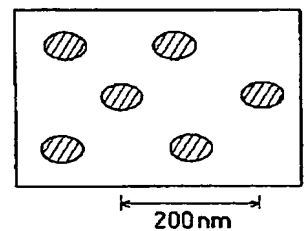


100: サファイヤ基板
 101: n型Ga_{0.15}Nクラッド層
 102: n型Ga_{0.15}Nクラッド層
 103: n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 104: n型In_{0.15}Ga_{0.85}N/Ga_{0.15}N多重量子井戸活性層
 105: In_{0.2}Ga_{0.8}N/I_{0.05}Ga_{0.95}N多重量子井戸活性層
 106: p型Ga_{0.15}Nクラッド層
 107: p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
 108: p型Ga_{0.15}Nクラッド層
 109: n型Ga_{0.15}N透明電極層
 110: p側電極
 111: n側電極

【図5】



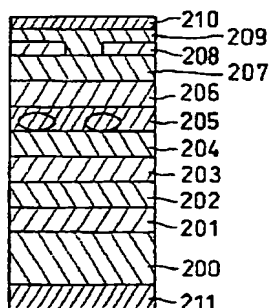
【図8】



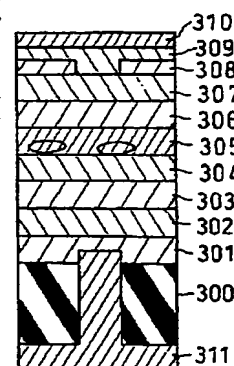
【図4】



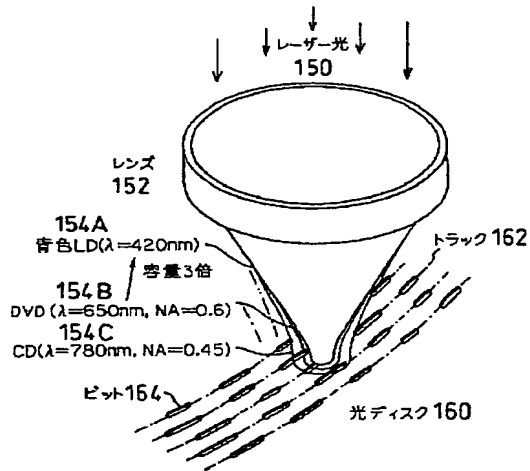
【図7】



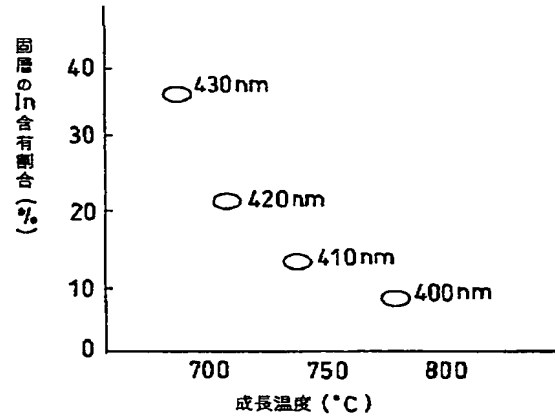
【図10】



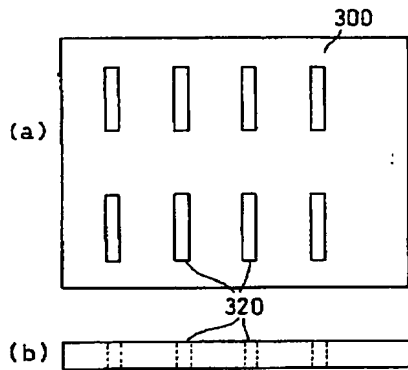
【図 6】



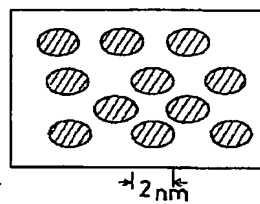
【図 9】



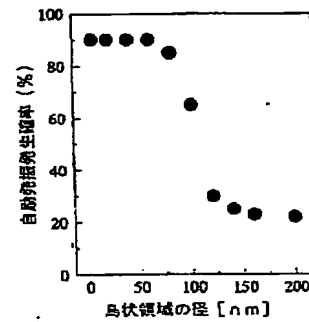
【図 11】



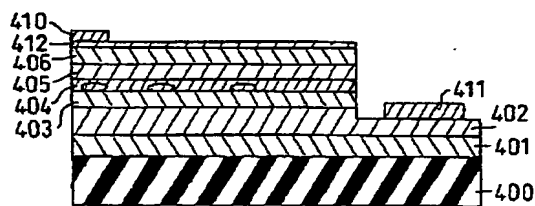
【図 12】



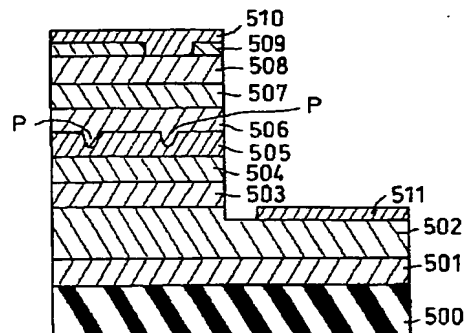
【図 13】



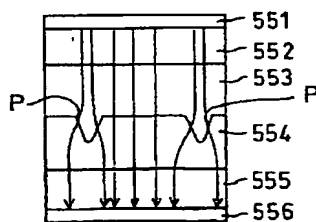
【図 14】



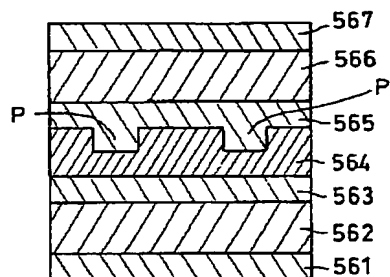
【図 15】



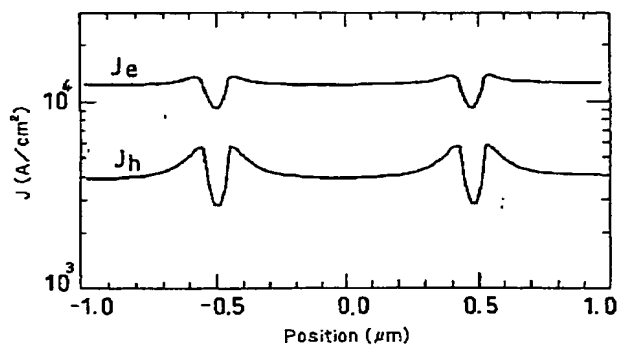
【図 16】



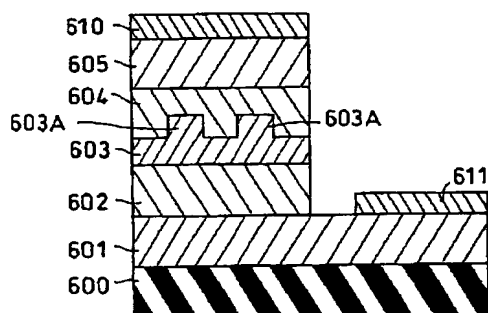
【図 17】



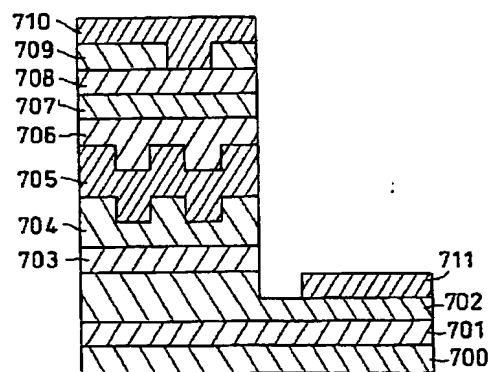
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

(72) 発明者 小野村 正明
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内
(72) 発明者 藤本 英俊
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 野崎 千晴
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内
(72) 発明者 西尾 譲司
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内
(72) 発明者 石川 正行
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株
式会社東芝研究開発センター内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.